

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky**

**Vliv zavádění Smart Grids na standardy distribuce  
elektriny a ukazatele nepřetržitosti distribuce elektriny**

**The influence of the Introduction of Smart Grids  
Standards for Electricity Distribution and Electricity  
Distribution Continuity Indicators**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marcel Řezníček**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: Vliv zavádění Smart Grids na standardy distribuce elektřiny a ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny  
The influence of the Introduction of Smart Grids Standards for Electricity Distribution and Electricity Distribution Continuity Indicators

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor distribučních soustav a Smart Grids
2. Důvody zavádění Smart Grids, popis využívaných prvků a způsoby řízení
3. Vliv na ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny, výpočty na vytvořených modelech
4. Vyhodnocení výsledků

Seznam doporučené odborné literatury:

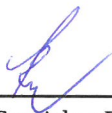
1. Hradílek Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí, VŠB-TUO, Ostrava, 2008
2. Platná legislativa, zejména: Zákon 458/2000 Sb., Vyhl. 540/2005 Sb. (zejména §§ 5,6,8 a § 21), Pravidla provozování distribuční soustavy (PPDS)
3. Hady-Said, Nouredine a Jean-Claude Sabonnadiere, ed. SmartGrids. London: ISTE; Hoboken, 2012. ISBN 978-1-84821-261-9
4. Boillo, Marc. Advanced smart grids for distribution system operators. London: ISTE, 2014. ISBN 978-1-84821-737-9
5. Další literatura podle pokynů vedoucího práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry

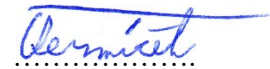


  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 24.04.2020

  
.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych především poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing Petru Krejčímu, Ph.D., za odborné konzultace, pomoc a rady při zpracování této práce.

Mé vřelé poděkování také patří panu Ing. Jiřímu Šoltysovi, Ph.D., za pozitivní jednání, odborné vedení a cenné připomínky při tvorbě práce.

Dále bych chtěl poděkovat i mé rodině a přátelům za podporu při studiu.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou Smart Grids spolu s následným dopadem na distribuční síť. Konkrétněji jaký vliv bude mít plošné zavádění prvků Smart Grids na standardy distribuce elektřiny a ukazatele nepřetržitosti elektřiny. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části došlo k základnímu rozboru distribučních soustav, zároveň došlo k objasnění a popisu konceptu Smart Grids. V dalším bodu teoretické části byly objasněny důvody zavádění prvků Smart Grids, také došlo k rozboru jednotlivých prvků spolu s jejich důležitými vlastnostmi na standardy distribuce elektřiny. Praktická část byla především zaměřena na ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny. Všechny vytvořené modely sítí byly vytvořeny ve specializovaném softwaru. Na daných modelech byly provedeny výpočty ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektřiny SAIDI a SAIFI v souladu s platnou legislativou. Výsledky všech sítí byly následně zanalyzovány. Závěrečná část této práce vyhodnocuje tyto výsledky, zde je především poukázáno, jak na pozitivní stránku Smart Grids, tak i tu negativní.

## **Klíčová slova**

Distribuční soustava; prvky dálkového ovládání; Smart Grids; spolehlivost; ukazatelé nepřetržitosti distribuce elektřiny

## **Abstract**

This diploma thesis deals with the issue of Smart Grids together with the subsequent impact on the distribution grid. Particularly what impact will the widespread deployment of Smart Grid elements have on the standards of electricity distribution and continuity energy indicators. The work is separated into two parts: theoretical and practical. In the theoretical part was a basic analysis of the distribution systems made, simultaneously the concept of Smart Grids was described and explained. In the next point of the theoretical part were named the reasons for introducing Smart Grids elements, also analysis of individual elements together with their important properties into the standards of electricity distribution were made. The practical part was primarily focused on indicators of continuity electricity distribution. All created grids models were created in specialized software. SAIDI and SAIFI have been calculated in accordance with the valid legislation. The results of all grids were then analyzed. The final part of this thesis evaluates these results, here are also shown two sides of the Smart Grids, the positive side and the negative side.

## **Key words**

Distribution grids; remote control elements; Smart Grids; reliability; electricity distribution continuity indicators

# Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk .....	9
Seznam obrázků a tabulek .....	10
Úvod .....	13
1 Teoretický rozbor distribučních soustav a Smart Grids .....	14
1.1 Distribuční soustava a základní pojmy .....	14
1.1.1 Uspořádání distribuce .....	17
1.2 Smart Grids .....	22
1.2.1 Definice Smart Grids .....	23
1.2.2 Historie Smart Grids .....	24
1.2.3 Právní rámec Smart Grids sítí v ČR .....	26
2 Důvody zavádění Smart Grids, popis využívaných prvků a způsoby řízení .....	28
2.1 Důvody a cíle zavádění Smart Grids .....	28
2.1.1 Rozdíly stávajících distribučních sítí a Smart Grids sítí .....	30
2.1.2 Důvody implementace Smart Grids .....	32
2.1.3 Shrnutí celkových cílů Smart Grids .....	32
2.2 Prvky dálkového ovládání v distribučních sítích vn .....	33
2.2.1 Klíčové komponenty systému dálkového ovládání .....	33
2.2.2 Dálkově ovládané stanice (DOS) .....	34
2.2.3 Komunikační síť .....	39
2.2.4 Sběr dat .....	40
2.2.5 Centrální a dispečerská stanice (CDS) .....	41
2.2.6 Řídící systémy .....	41
2.3 Prvky dálkového ovládání v distribučních sítích nn .....	42
2.3.1 Smart elektroměry .....	42
2.4 Smart Grids ve světě .....	45
2.4.1 Smart Grids v zahraničí .....	45
3 Vliv na ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny, výpočty na vytvořených modelech .....	48
3.1 Vyhláška č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice .....	48
3.1.1 Postupy pro vykazování dodržování kvality dodávek a služeb .....	48
3.1.2 Příloha č. 5 – Výpočet ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektřiny .....	48
3.1.3 Vztahy pro výpočet ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektřiny .....	49
3.1.4 Vztahy pro klasické ukazatele spolehlivosti dodávky elektřiny .....	50

3.2	Software DNCalc .....	51
3.2.1	Popis programu.....	51
3.3	Porovnání výsledků ze spolehlivostních schémat a programu DNCalc .....	56
3.3.1	Vyhodnocení srovnání.....	60
3.4	Vytvořené modely .....	61
4	Vyhodnocení výsledků.....	95
	Závěr .....	100
	Použitá literatura .....	102
	Seznam příloh.....	104



## Seznam použitých symbolů a zkratek

<i>CAIDI</i>	[min · výpadek <sup>-1</sup> ]	průměrná doba trvání jednoho přerušení dodávky elektřiny
<i>SAIDI</i>	[min · rok <sup>-1</sup> ]	průměrná systémová doba trvání přerušení dodávky elektřiny
<i>SAIFI</i>	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	průměrná systémová četnost přerušení dodávky elektřiny
<i>f</i>	[Hz]	frekvence
<i>cos (φ)</i>	[-]	účinník
<i>E</i>	[kWh], [TWh]	elektrická energie
<i>I</i>	[A]	elektrický proud
<i>l</i>	[km]	délka/dráha
<i>S</i>	[MVA]	zdánlivý výkon
<i>t</i>	[min], [h]	čas
<i>U</i>	[kV]	elektrické napětí
<i>Z</i>	[Ω]	impedance
<i>σ</i>	[MW · km <sup>-2</sup> ]	hustota spotřeby elektrické energie
<i>α</i>	[°]	fázový posun
<i>λ<sub>P</sub></i>	[rok <sup>-1</sup> ]	intenzita poruch
<i>τ<sub>P</sub></i>	[h]	střední doba poruchy
<i>ΔU</i>	[%]	úbytek napětí
	[kbit · s <sup>-1</sup> ]	přenosová rychlost
DOE	Department of Energy	
DTS	distribuční trafostanice	
EISA	Energy Independence and Security Act	
EZ	Energetický zákon	
ETP	European Technology Platform	
OECD	The Organisation for Economic Co-operation and Development	
OZE	Obnovitelné zdroje elektrické energie	
SG	Smart Grids	
PS	přenosová soustava	
a.s.	akciová společnost	

*Pozn. Všechny ostatní symboly a zkratky jsou vysvětleny přímo v textu, buď závorkou, či „dále jen“.*

## Seznam obrázků a tabulek

<i>Obr. 1.1</i>	<i>Struktura elektrizační soustavy.....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 1.2</i>	<i>Rozdělení distribuční sítě podle PDS [2].....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 1.3</i>	<i>Síť paprsková.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 1.4</i>	<i>Síť průběžná.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 1.5</i>	<i>Síť okružní.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 1.6</i>	<i>Zjednodušená mřížová síť.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 1.7</i>	<i>Způsoby uzemnění transformátoru.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 1.8</i>	<i>První elektroměr v podobě chemického měřice [8].....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 2.9</i>	<i>Výhled výroby elektrické energie s ohledem na následujících 30 let.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 2.10</i>	<i>Porovnání principů původní DS (vlevo) a konceptu Smart Grids (vpravo) [6].....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 2.11</i>	<i>Rozdíly mezi stávající sítí (vlevo) a mezi Smart Grids sítí (vpravo).....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 2.12</i>	<i>Jednotlivé stupně vedoucí ke konceptu Smart Grids.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 2.13</i>	<i>Ukázka DOO s máloolejovými zhášecími komorami (vlevo) a ovládací skříň (vpravo) [13].....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 2.14</i>	<i>Distribuční síť v okamžiku vzniku poruchy.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 2.15</i>	<i>Distribuční síť při zareagování ochrany v elektrické rozvodně/stanici.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 2.16</i>	<i>Distribuční síť po lokalizaci poruchy na určeném úseku vedení.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 2.17</i>	<i>Ukázka DOR s vakuovým provedením (vlevo) a ovládací skříň (vpravo) [14].....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 2.18</i>	<i>Distribuční síť v okamžiku vzniku poruchy.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 2.19</i>	<i>Distribuční síť při zareagování dálkově ovládaného recloseru.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 2.20</i>	<i>Distribuční síť při součinnosti dálkově ovládaného recloseru a odpínače.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 2.21</i>	<i>Příklad dálkově ovládané kioskové trafostanice [15].....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 2.22</i>	<i>Příklad systému pro dispečerské řízení [17].....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 2.23</i>	<i>Infrastruktura inteligentní sítě.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 2.24</i>	<i>Smart elektroměr [18].....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 2.25</i>	<i>Celková spotřeba elektrické energie pro rok 2016 podle OECD.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 3.26</i>	<i>Ukázka uživatelského rozhraní v programu DNCalc.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 3.27</i>	<i>Legenda jednotlivých prvků.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 3.28</i>	<i>Tabulka vlastností napájecího uzlu.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 3.29</i>	<i>Tabulka vlastností transformátoru, parametry (vlevo), spolehlivost (vpravo).....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 3.30</i>	<i>Tabulka vlastností vedení, parametry (vlevo), spolehlivost (vpravo).....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 3.31</i>	<i>Schématické znázornění ZAP/VYP prvku spínač.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 3.32</i>	<i>Tabulka spolehlivostních parametrů spínače.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 3.33</i>	<i>Tabulka vlastností zátěže, parametry (vlevo), spolehlivost (vpravo).....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 3.34</i>	<i>Příklad pasivovaného prvku.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 3.35</i>	<i>Schéma zapojení sítě.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 3.36</i>	<i>Schéma zapojení pro první variantu.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 3.37</i>	<i>Schéma zapojení pro druhou variantu.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 3.38</i>	<i>Schéma zapojení pro třetí variantu.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 3.39</i>	<i>Schéma zapojení pro čtvrtou variantu.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 3.40</i>	<i>Model Sítě 1.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 3.41</i>	<i>Model Sítě 1 s využitím prvků SG.....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 3.42</i>	<i>Model Sítě 2.....</i>	<i>63</i>

<i>Obr. 3.43 Model Sítě 2 s využitím prvků SG</i>	63
<i>Obr. 3.44 Model Sítě 3</i>	64
<i>Obr. 3.45 Model Sítě 3 s využitím prvků SG</i>	64
<i>Obr. 3.46 Model Sítě 4</i>	65
<i>Obr. 3.47 Model Sítě 4 s využitím prvků SG</i>	65
<i>Obr. 3.48 Model Sítě 5</i>	66
<i>Obr. 3.49 Model Sítě 5 s využitím prvků SG</i>	67
<i>Obr. 5.50 Model Sítě 6</i>	68
<i>Obr. 5.51 Model Sítě 6 s využitím prvků SG</i>	68
<i>Obr. 3.52 Model Sítě 7</i>	69
<i>Obr. 3.53 Model Sítě 7 s využitím prvků SG</i>	69
<i>Obr. 3.54 Model Sítě 8</i>	70
<i>Obr. 3.55 Model Sítě 8 s využitím prvků SG</i>	71
<i>Obr. 3.56 Model Sítě 9</i>	72
<i>Obr. 3.57 Model Sítě 9 s využitím prvků SG</i>	72
<i>Obr. 3.58 Model Sítě 10</i>	73
<i>Obr. 3.59 Model Sítě 10 s využitím prvků SG</i>	73
<i>Obr. 3.60 Model Sítě 11</i>	74
<i>Obr. 3.61 Model Sítě 11 s využitím prvků SG</i>	74
<i>Obr. 3.62 Model Sítě 12</i>	75
<i>Obr. 3.63 Model Sítě 12 s využitím prvků SG</i>	76
<i>Obr. 3.64 Model Sítě 13</i>	77
<i>Obr. 3.65 Model Sítě 13 s využitím prvků SG</i>	77
<i>Obr. 3.66 Model Sítě 14</i>	78
<i>Obr. 3.67 Model Sítě 14 s využitím prvků SG</i>	78
<i>Obr. 3.68 Model Sítě 15</i>	79
<i>Obr. 3.69 Model Sítě 15 s využitím prvků SG</i>	80
<i>Obr. 3.70 Model Sítě 16</i>	81
<i>Obr. 3.71 Model Sítě 16 s využitím prvků SG</i>	81
<i>Obr. 3.72 Model Sítě 17</i>	82
<i>Obr. 3.73 Model Sítě 17 s využitím prvků SG</i>	82
<i>Obr. 3.74 Model Sítě 18</i>	83
<i>Obr. 3.75 Model Sítě 18 s využitím prvků SG</i>	84
<i>Obr. 3.76 Model Sítě 19</i>	85
<i>Obr. 3.77 Model Sítě 19 s využitím prvků SG</i>	85
<i>Obr. 3.78 Model Sítě 20</i>	86
<i>Obr. 3.79 Model Sítě 20 s využitím prvků SG</i>	86
<i>Obr. 3.80 Model Sítě 21</i>	87
<i>Obr. 3.81 Model Sítě 21 s využitím prvků SG</i>	87
<i>Obr. 3.82 Model Sítě 22</i>	88
<i>Obr. 3.83 Model Sítě 22 s využitím prvků SG</i>	89
<i>Obr. 3.84 Model Sítě 23</i>	90
<i>Obr. 3.85 Model Sítě 23 s využitím prvků SG</i>	90
<i>Obr. 3.86 Model Sítě 24</i>	91
<i>Obr. 3.87 Model Sítě 24 s využitím prvků SG</i>	91
<i>Obr. 3.88 Model Sítě 25</i>	92

<i>Obr. 3.89 Model Sítě 25 s využitím prvků SG .....</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 3.90 Model Sítě 26 .....</i>	<i>94</i>
<i>Obr. 3.91 Model Sítě 26 s využitím prvků SG .....</i>	<i>94</i>
<i>Tab. 1.1 Délky tras vedení vvn největších provozovatelů DS [3].....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 1.2 Délky tras vedení vn největších provozovatelů DS [3] .....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 1.3 Délky tras vedení nn největších provozovatelů DS [3] .....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 3.4 Spolehlivostní parametry zařízení.....</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 3.5 Srovnání výsledků pro první variantu.....</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 3.6 Srovnání výsledků pro druhou variantu.....</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 3.7 Srovnání výsledků pro třetí variantu.....</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 3.8 Srovnání výsledků pro čtvrtou variantu .....</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 3.9 Výsledková tabulka Sítě 1 .....</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 3.10 Výsledková tabulka Sítě 2 .....</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 3.11 Výsledková tabulka Sítě 3 .....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 3.12 Výsledková tabulka Sítě 4 .....</i>	<i>66</i>
<i>Tab. 3.13 Výsledková tabulka Sítě 5 .....</i>	<i>67</i>
<i>Tab. 3.14 Výsledková tabulka Sítě 6 .....</i>	<i>68</i>
<i>Tab. 3.15 Výsledková tabulka Sítě 7 .....</i>	<i>70</i>
<i>Tab. 3.16 Výsledková tabulka Sítě 8 .....</i>	<i>71</i>
<i>Tab. 3.17 Výsledková tabulka Sítě 9 .....</i>	<i>72</i>
<i>Tab. 3.18 Výsledková tabulka Sítě 10 .....</i>	<i>74</i>
<i>Tab. 3.19 Výsledková tabulka Sítě 11 .....</i>	<i>75</i>
<i>Tab. 3.20 Výsledková tabulka Sítě 12 .....</i>	<i>76</i>
<i>Tab. 3.21 Výsledková tabulka Sítě 13 .....</i>	<i>77</i>
<i>Tab. 3.22 Výsledková tabulka Sítě 14 .....</i>	<i>79</i>
<i>Tab. 3.23 Výsledková tabulka Sítě 15 .....</i>	<i>80</i>
<i>Tab. 3.24 Výsledková tabulka Sítě 16 .....</i>	<i>81</i>
<i>Tab. 3.25 Výsledková tabulka Sítě 17 .....</i>	<i>83</i>
<i>Tab. 3.26 Výsledková tabulka Sítě 18 .....</i>	<i>84</i>
<i>Tab. 3.27 Výsledková tabulka Sítě 19 .....</i>	<i>85</i>
<i>Tab. 3.28 Výsledková tabulka Sítě 20 .....</i>	<i>86</i>
<i>Tab. 3.29 Výsledková tabulka Sítě 21 .....</i>	<i>88</i>
<i>Tab. 3.30 Výsledková tabulka Sítě 22 .....</i>	<i>89</i>
<i>Tab. 3.31 Výsledková tabulka Sítě 23 .....</i>	<i>90</i>
<i>Tab. 3.32 Výsledková tabulka Sítě 24 .....</i>	<i>92</i>
<i>Tab. 3.33 Výsledková tabulka Sítě 25 .....</i>	<i>93</i>
<i>Tab. 3.34 Výsledková tabulka Sítě 26 .....</i>	<i>94</i>
<i>Tab. 4.35 Souhrnná tabulka změny globálních ukazatelů při nasazení SG .....</i>	<i>97</i>
<i>Tab. 4.36 Souhrnná tabulka procentuální změny globálních ukazatelů při nasazení SG .....</i>	<i>98</i>
<i>Tab. 4.37 Souhrnná tabulka procentuálního průměru všech sítí při nasazení SG .....</i>	<i>99</i>
<i>Graf 4.1 Grafické znázornění zhoršení ukazatele SAIDI .....</i>	<i>98</i>
<i>Graf 4.2 Grafické znázornění zlepšení ukazatele SAIFI .....</i>	<i>99</i>
<i>Graf 4.3 Grafické znázornění zlepšení ukazatele SAIDI.....</i>	<i>99</i>

# Úvod

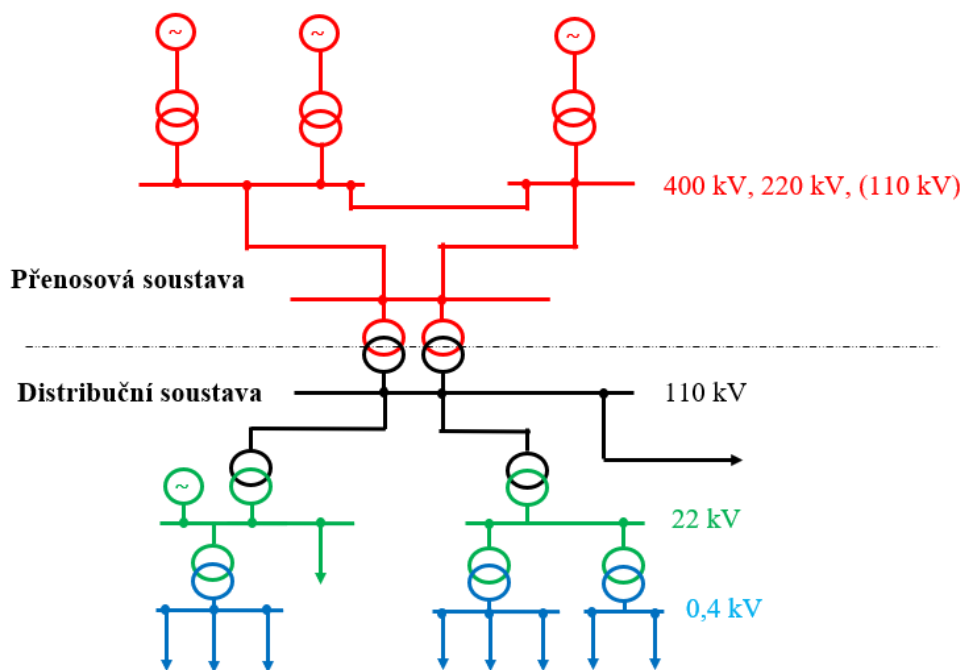
Elektrická energie je v současné době nedílnou součástí našeho každodenního života. Většina lidí vnímá dodanou elektřinu jako samozřejmost, málo kdo si však dokáže vzhledem k dnešní době uvědomit, jak jsme na dodávce elektřiny závislí. Je to právě dodaná elektrická energie, která nám každý den ulehčuje práci a zlepšuje životní úroveň. Abychom byli schopni tuto elektrickou energii dodat do všech domácností, firem a terciálních sektorů, je nutno zmínit pojem elektrizační soustava. Elektrizační soustava tvoří základní pilíř naší infrastruktury a s mírným zjednodušením ji lze označit jako rozvod elektřiny od výrobce až ke konečnému odběrateli, technicky však patří k nejsložitějším systémům současnosti. Aby tento systém spolehlivě fungoval, musí platit podmínka rovnováhy mezi vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energií. Od výrobců je však zapotřební dopravit tuto elektrickou energii s co nejvyšší kvalitou a spolehlivostí. K dopravě elektřiny ke konečným odběratelům využíváme přenosovou a distribuční soustavu. Přenosová soustava slouží k přenášení velkých výkonů na poměrně velké vzdálenosti, a to za využití zvláště vysokého napětí. Propojení dodávky elektřiny mezi přenosovou soustavou a konečnými odběrateli uskutečňuje soustava distribuční. Distribuční soustava je provozována většinou na hladinách vysokého a nízkého napětí. S rostoucí poptávkou po elektřině tak rostou i nároky na spolehlivost a kvalitu. Nutno podotknout, že většina sítí a prvků v distribučních soustavách, ale i přenosových bylo navrženo před několika desítkami let, téměř od počátku zavedení elektřiny. Elektrické sítě a zařízení, které v té době byly navrženy však nepočítaly s tak enormním rozmachem do budoucna. Většina původních zařízení tak funguje na hranici svých provozních schopností, spolu s jejich provozní životností. Všechny tyto faktory pak hrají zásadní vliv na již zmíněnou dodávku elektřiny v podobě spolehlivosti a kvality. Proto jsou provozovatelé distribučních a přenosových soustav nuceni vynakládat velké investiční prostředky, které vedou ke zvýšení spolehlivosti zařízení a sítí. Zvýšení spolehlivosti a kvality dodávky tak tedy lze docílit inovacemi nových prvků tzv. Smart Grids. Tato práce se tedy zabývá problematikou Smart Grids spolu s následným dopadem na distribuční síť. Konkrétněji jaký vliv bude mít plošné zavádění prvků Smart Grids na standardy distribuce elektřiny a ukazatele nepřetržitosti elektřiny SAIFI, SAIDI. Výsledkem práce je vyhodnocení výsledků, které byly vypočteny na vytvořených modelech sítí v softwarovém prostředí.

# 1 Teoretický rozbor distribučních soustav a Smart Grids

## 1.1 Distribuční soustava a základní pojmy

Elektrizační soustava dále jen ES, je soubor vzájemně propojených zařízení pro výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektřiny, včetně elektrických přípojek a přímých vedení, a systémů měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky. Skládá se převážně ze soustav přenosových a soustav distribučních (rozvodných). Přenosové soustavy slouží k přenosu těch nejvyšších výkonů mezi hlavními uzly elektrizační soustavy, a to na nejdelší vzdálenosti. Distribuční soustavy mají za úkol rozdělit elektrickou energii z napájeného uzlu do jednotlivých oblastí, resp. k jednotlivým odběratelům elektrické energie. Veřejné distribuční soustavy slouží k napájení oblastí terciální sféry (obytné oblasti) a jsou z nich napájeny i sítě průmyslové, zemědělské či dopravní. Na obrázku 1.1 je znázorněna struktura elektrizační soustavy.

Napěťové hladiny, napětí v síti je jedním z klíčových parametrů, podle kterého určujeme stabilitu sítě. Pro přenos elektrické energie na dlouhou vzdálenost je výhodné využívat co nejvyšší napětí, tím docílíme co nejmenších ztrát k poměru přeneseného výkonu. Na úrovni 400 kV, 220 kV a 110 kV se jedná o přenosovou soustavu, na nižších úrovních napětí se jedná o distribuční soustavu. Základní rozdělení dle napěťových hladin je následující: do 50 V – malé napětí (mn), 50 V až 1 kV – nízké napětí (nn), 1 kV až 50 kV – vysoké napětí (vn), 50 kV až 399 kV – velmi vysoké napětí (vvn), 400 kV až 800 kV – zvláště vysoké napětí (zvn).



Obr. 1.1 Struktura elektrizační soustavy

Distribuční soustava dále jen DS, je soubor vzájemně propojených vedení a zařízení 110 kV (s výjimkou vybraných vedení a zařízení 110 kV, jenž jsou součástí přenosové soustavy, např. transformátory 400/110 kV) a vedení a zařízení o napětí 0,4/0,23 kV, 1,5 kV, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV, 25 kV a 35 kV. Všechna tato vedení a zařízení slouží k zajištění distribuce elektřiny na vymezeném

území České republiky, včetně systémů měřicí, ochranné, zabezpečovací, řídicí, informační a veškeré telekomunikační techniky. DS jsou zřizovány ve veřejném zájmu, jejichž provoz zajišťuje provozovatel. Provozovatel DS se musí řídit zejména Pravidly provozování distribuční soustavy schvalovanými Energetickým regulačním úřadem (ERÚ) a další platnou legislativou. Mezi nejpodstatnější poslání DS je bezpečně a hospodárně zásobovat odběratele elektrické energie v požadovaném množství a kvalitě v daném čase. Provozovatel DS dále musí poskytovat distribuční služby uvnitř i vně soustavy. Mimo jiné také zajišťuje systémové a podpůrné služby na úrovni DS.

Normální stav je stav soustavy, kdy jsou všechny provozní hodnoty systémových veličin v dovolených mezích, kdy je splněno pro vedení 110 kV a přípojnice stanic 110 kV/vn napájejících sítě kritérium N-1 a v sítích vn a nn není pro poruchu, revizi nebo údržbu omezena doprava elektrické energie odběratelům či výrobcům.

Spolehlivostní kritérium N-1 znamená, že elektrický systém je schopen bezpečně zvládnout výpadek jednoho vedení, transformátoru, elektrárenského bloku či jiného důležitého komponentu z důvodu poruchy, aniž by to mělo závažné následky, např. řízená nutnost odpojení odběratelů. V konkrétním případě, při výpadku jednoho z elektrických vedení, dojde k toku elektrické energie skrz vedení jiná a systém jako celek zůstane stále plně funkční, aniž by spotřebitel tuto poruchu zaregistroval.

Plánovací a přípojovací předpisy pro DS dává uživatelům informace o standardech dodávky elektřiny nabízené DS, o základních zásadách jejího rozvoje i o technických požadavcích, které k ní připojení uživatelé musí splňovat. Zvlášť jsou definovány požadavky na připojení výroben. Jako další umožňuje tato část pravidel danému uživateli získat od provozovatele DS přehled o distribučních a výrobních kapacitách, zatížení a některé další informace o DS.

Plánování rozvoje DS je souhrnný celek činnosti zajišťujících technicky i ekonomicky optimální rozvoj DS dle přijatých standardů rozvoje DS ve vazbě na rozvoj všech jejich současných i budoucích uživatelů.

Pravidla provozování distribuční soustavy dále jen PPDS je soubor veřejně dostupných dokumentů specifikujících zásady působnosti provozovatele a uživatelů DS, schválený skrz ERÚ. PPDS upřesňují technické aspekty provozních vztahů mezi provozovatelem DS a všemi dalšími uživateli připojenými k DS. Ustanovení PPDS jsou společná a závazná pro všechny provozovatele a uživatele DS. Kromě pravidel provozování DS musí též provozovatelé DS plnit své platné závazky vyplývající z licence, z daných obecných právních předpisů a z pravidel provozování přenosových soustav dále jen PPPS. Přestože PPPS specifikují již všechny technické aspekty požadavků na rozhraní mezi PS a DS, nejsou již v PPDS práva a povinnosti provozovatele PS podrobně uváděny.

Pravidla provozování PS a Pravidla provozování DS jsou nezbytná k tomu, aby společně zajistila rozčlenit následující aspekty:

- celkově efektivní provoz Elektrizace soustavy,
- přiměřenou prakticky dosažitelnou míru zabezpečení zákazníka elektrickou energií a kvalitou dodávek,
- jasná a nediskriminační pravidla přístupu všech uživatelů elektřiny k sítím.

PPDS nicméně nezahrnují úplně všechny předpisy, jenž mají uživatelé DS sítě striktně dodržovat. Tito uživatelé musí ještě navíc respektovat i ostatní příslušné právní předpisy a technické normy, bezpečnostní předpisy, předpisy požární ochrany, ochrany životního prostředí a předpisy pro dodávku elektrické energie. [1]

PPDS se skládají ze dvou hlavních částí:

- plánovacích a připojovacích předpisů pro DS,
- provozních předpisů pro DS.

PPDS se vztahují na:

- provozovatele DS,
- provozovatele PS,
- provozovatele lokálních DS,
- provozovatele výroben připojených do DS,
- obchodníky s elektřinou,
- zákazníky.

Některé části PPDS se vztahují jen na určité kategorie uživatelů DS, a to především podle typu druhu užívání DS nebo typu připojení. Všichni uživatelé však musí znát a respektovat tato ustanovení pravidel, jenž se jich týkají. Pravidla provozování PS definují technické hledisko všech provozních vztahů mezi provozovatelem PS a všemi dalšími uživateli připojených k PS. Některá hlediska se vztahují i na výrobu elektrické energie ve výrobnách přímo připojených do DS. Předpisy pro DS zahrnují také provozní náležitosti, které ovlivňují uživatele a vyžadují jejich součinnost, jako ustanovení o odhadech předpokládané poptávky, o plánování odstávek DS a výroben, o hlášení provozních změn a daných událostí, o bezpečnosti zařízení DS a o případných krocích při mimořádných událostech. Požadavky na poskytování informací provozovateli DS ze strany uživatelů jsou shrnuty v předpisech pro registraci údajů o soustavě. Provozovatel DS je potřebuje zejména pro plánování provozu a rozvoje DS. Tyto informace jsou důvěrné a je možné je zpřístupnit pouze za okolností stanovených všeobecných podmínkách DS, upravujících v Pravidlech provozování DS především záležitosti právní povahy. [1]

Při provozování DS jsou provozovatelé DS povinni zajistit nediskriminační přístup k DS všem oprávněným uživatelům.

Užití DS může mít rozdílný charakter:

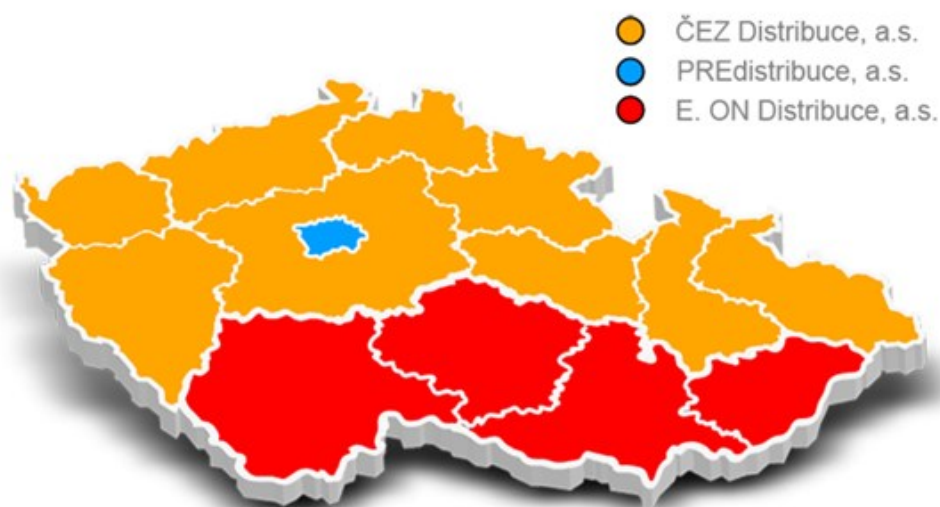
- a) dodávku elektrické energie do DS (přes vstupní místa připojení),
  - z PS,
  - z výroby připojené do DS,
  - z jiné DS,
  - mezistátní,
- b) dodávku elektřiny z DS do PS,
- c) odběr elektřiny z DS (přes výstupní místa připojení),
  - k zařízení zákazníka,
  - do jiné DS,
  - mezistátní,
- d) distribuci elektrické energie po DS mezi vstupními a výstupními místy připojení,
- e) zajištění systémových a podpůrných služeb (např. regulace výkonu a napětí), pohotovostních dodávek a krytí spotřeby odběratele ze strany provozovatele DS tam, kde již došlo k výpadku vlastního zdroje odběratele nebo tento daný zdroj odběrateli nepostačuje nebo došlo k výpadku dodávky od smluvního dodavatele.



Odlišné způsoby užívání DS žádají odlišné typy smluv mezi provozovatelem DS a uživateli, jenž upravují i technické řešení míst připojení. Vždy se však musí dodržet příslušné ustanovení PPDS. Pokud některý způsob užívání DS předpokládá současně i užívání PS, musí daný uživatel uzavřít smlouvu i s provozovatelem PS a respektovat pravidla PPPS. [1]

Provozovatel DS dále jen PDS, je fyzická či právnická osoba, která je držitelem licence na distribuci elektřiny na částech vyjmutých z vymezeného území provozovatele velké regionální DS mohou působit provozovatelé lokálních DS s vlastním vymezeným územím. Provozovatel DS zodpovídá za její spolehlivý, a především bezpečný provoz způsobem odpovídajícím k ochraně životního prostředí a v neposlední řadě za její rozvoj. Činí tak prostřednictvím svého technického dispečinku provozovatele DS (pokud ho zřídil) a svých provozních a rozvojových útvarů. Provozovatel DS je zavázán tím, že na vyhrazeném území na základě uzavřených smluv umožní distribuci elektřiny, připojit k DS každého a umožnit distribuci elektřiny každému, kdo o to požádá splňuje-li však podmínky dané EZ, jeho prováděcími vyhláškami a pravidly provozování DS. Místo a způsob připojení k DS se určuje tak, aby nedošlo k žádnému přetížení či překročení prvku sítě.[1]

Na území České republiky mezi nejvýznamnější provozovatele distribučních soustav patří společnosti ČEZ Distribuce, a.s., provozující DS na území bývalého Západočeského, Severočeského, Středočeského, Východočeského a Severomoravského kraje. Dalším provozovatelem je společnost E.ON Distribuce, a.s. provozující DS na území bývalého Jihomoravského kraje. Posledním významnou společností je PREdistribuce, a.s., provozující DS na území Hlavního města Prahy.



Obr. 1.2 Rozdělení distribuční sítě podle PDS [2]

#### 1.1.1 Uspořádání distribuce

Z hlediska uspořádání se distribuční síť dělí na dva základní způsoby. Prvním způsobem je tzv. otevřený rozvod, kde je elektrická energie ke spotřebitelům dodána pouze jednou cestou. Druhým způsobem je rozvod uzavřený. U tohoto rozvodu se napájení zajistí vždy ze dvou či více stran. Výběr vhodného druhu rozvodu záleží na způsobu provozované soustavy, tím je myšleno, jak z hlediska výkonu, tak z hlediska bezpečnostního či hospodárného.

#### 1.1.1.1 Rozdělení DS z hlediska napět'ových hladin

##### a) Distribuční soustava vvn:

Je nejdůležitějším základem DS. Sítě zajišťují přepravu elektřiny z uzlových transformoven zvn/vvn a vvn/vvn do transformoven 110/vn kV. Do těchto sítí jsou vyvedeny výkony řady elektráren o výkonech desítek MW, jako jsou například menší solární elektrárny, plynové elektrárny atd. Většina sítí je provozována zpravidla jako okružní a zvolenému způsobu provozu odpovídá použitý systém chránění distančními ochranami. Tyto sítě vynikají spolu s vedeními zvn a vvn přenosové soustavy k sítím s největší spolehlivostí, velice nízkou četností poruch a díky způsobu provozu a zálohování většina poruch při správném působení ochranných systémů nezpůsobí přerušení dodávky elektrické energie odběratelům. Vedení jsou ve většině případů konstruována jako dvojitá (dvě vedení na jednom stožáru), v ČR se však často vyskytují vedení jednoduchá, trojitá či čtyřnásobná.

Tab. 1.1 Délky tras vedení vvn největších provozovatelů DS [3]

ČEZ Distribuce, a.s.	9789,7 km
E.ON Distribuce, a.s.	3176,1 km
PREdistribuce, a.s.	202,2 km

##### b) Distribuční soustava vn:

Jsou převážně tvořeny venkovními a kabelovými vedeními provozovanými v převážné většině napětím 22 kV, respektive v některých případech 35 kV. Z minulosti jsou v provozu sítě s napětím 3, 6 a 10 kV, z hlediska distribučním či průmyslovým vlastnostem vedení. V dnešní době však tyto sítě nejsou dále rozvíjeny a jsou v rámci unifikace nahrazovány napět'ovou hladinou 22 kV. Ve valné většině případů jsou tyto sítě provozovány jako paprskové, či formou průběžného rozvodu. V městských aglomeracích toto řešení většinou umožňuje řadu propojení do dvojpaprskového nebo okružního rozvodu.

Tab. 1.2 Délky tras vedení vn největších provozovatelů DS [3]

ČEZ Distribuce, a.s.	49697 km
E.ON Distribuce, a.s.	21754 km
PREdistribuce, a.s.	3829 km

##### c) Distribuční soustava nn:

Jsou jako předešlé sítě tvořeny převážně paprskovým či průběžným rozvodem, husté městské sítě jsou provedeny jako mřížové.

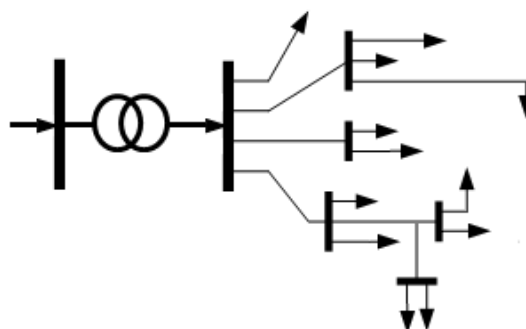
Tab. 1.3 Délky tras vedení nn největších provozovatelů DS [3]

ČEZ Distribuce, a.s.	97985 km
E.ON Distribuce, a.s.	38837 km
PREdistribuce, a.s.	7750 km

### 1.1.1.2 Rozdělení DS z hlediska rozvodu soustavy

#### a) Sítě paprskové radiální:

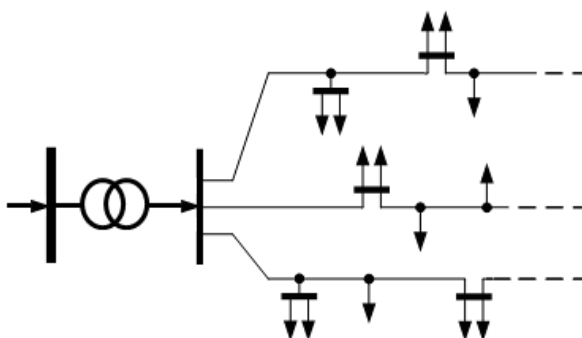
Vedení rozvodu vychází z distribuční transformační stanice, která zásobuje jednotlivá odběrná místa nebo uzly. Každý paprsek je samostatný a nelze jej vzájemně spojovat. Tento rozvod patří k nejjednodušším a zároveň také k nejlevnějším druhům rozvodů, avšak značnou nevýhodou je velmi nízká spolehlivost dodávky elektřiny. V případě poruchy v jakékoli části rozvodu není možné odběrné místo napájet odjinud. Přerušení dodávky může trvat i několik hodin. Paprskové sítě se využívají v obcích, menších městech, ale i v průmyslu. Paprsková síť je znázorněna na následujícím obrázku 1.3. [4]



Obr. 1.3 Sít' paprsková

#### b) Sítě průběžné:

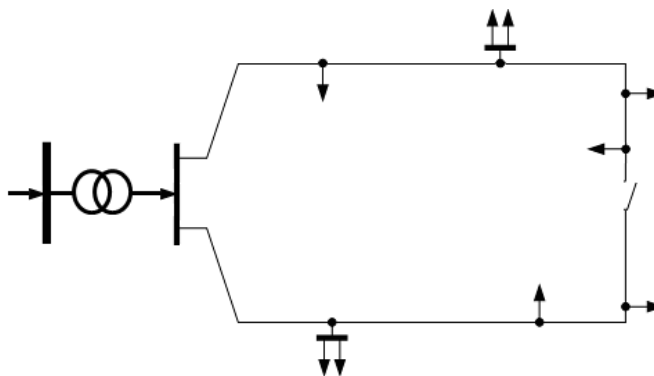
Průběžný rozvod má podobné vlastnosti jako u předešlého typu provedení. Tento rozvod je běžný zejména pro osvětlování komunikací. Je však vhodný i pro distribuční vedení na vesnicích, anebo jako napájení větších či rozlehlějších průmyslových hal. Specifikuje se především dlouhým průběžným vedením, z kterého jsou provedeny odbočky pro napájení jednotlivých odběrných míst. Jelikož délky u průběžných rozvodů mohou být značně velké, je zde velmi důležitá kontrola úbytku napětí po celé délce daného vedení. [4]



Obr. 1.4 Sít' průběžná

c) Sítě okružní:

Okružní či smyčkový rozvod je realizován jako uzavřený okruh. Jednotlivé smyčkové nebo paprskové odbočky jsou vedeny tak, aby se daly ve spínacích trafostanicích sepnout. Již z obrázku 1.5. lze upozorovat, že okružní síť je možno provozovat buď jako rozepnutou nebo sepnutou. Nejběžnější způsob je za rozepnutého stavu, tedy jako dva paprskové rozvody. Při poruše vedení v některé části okruhu se postižený bod snadno přepne na vývod sousední (napájí se z druhé strany). Sítě okružní jsou podstatně dražší než paprskové, a to z důvodu vzájemného spojení, na které je třeba podstatně větších délek. Tento rozvod se vyplatí pro náročnější spotřebiče a často se využívá ve větších průmyslových závodech, výjimečně v městské obytné zástavbě. [4]

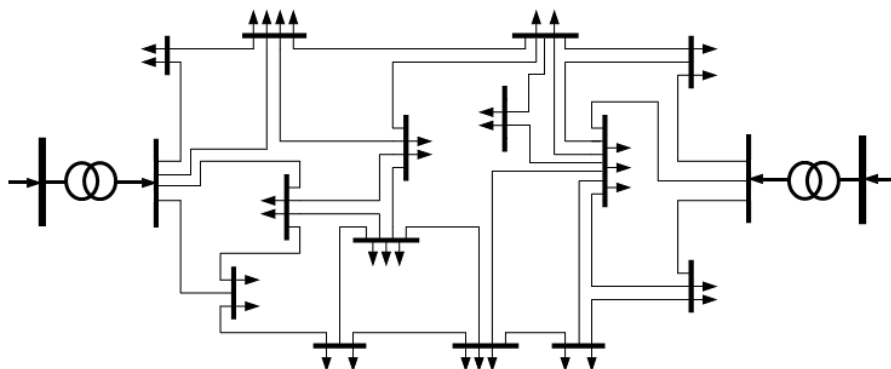


Obr. 1.5 Síť okružní

d) Sítě mřížové:

Dělí se na dvě základní rozčlenění, zjednodušenou mřížovou síť a klasickou mřížovou síť. Zjednodušená mřížová síť je v podstatě složitější sepnutá okružní síť. Tuto síť lze vytvořit, je-li napájena alespoň dvěma napájecími transformátory vn/nn. Mezi těmito napájecími body je spojení hlavním vedením, magistraly, s většími průřezy, jištěné výkonovými (hlavními) pojistkami. Tyto sítě jsou sestaveny a jištěny tak, aby se vadný úsek selektivně odpojil pojistkami. V místě kritického průřezu jsou umístěny pojistky slabé vazby, jenž mají za úkol odpojit postižený úsek rychleji, než před pojistkami hlavními (zajištění selektivity). Ostatní úseky sítě musí zůstat napájeny. Jmenovitý poměr proudů hlavní a slabé vazby je 2:1. DTS jsou většinou napájeny jedním vedením, a to ve většině případů venkovním. Tyto sítě se využívají z velké části u nn kabelových sítí, ve speciálních případech i u vn sítí. Klasická mřížová síť slouží pro napájení větších měst s měrnou hustotou  $1 \text{ MW/km}^2$  a více, kde je obvykle několik napáječů vn až 5. Při větším počtu napáječů je provoz nevhodný. V klasické mřížové síti je vyšší spolehlivost zásobování odběrných míst při poruše některého napáječe vn než v předešlých typech sítí. Vznikne-li porucha na určitém napáječi vn, teče zkratový proud do místa zkratu nejen z místa napájení, ale i ze strany nízkého napětí. Pro tento případ jsou na straně nn každého transformátoru spínače ovládané směrovými relé, jenž dají popud k vypnutí vadného napáječe v případě toku výkonu z nn hladiny do vn hladiny. Téměř současně zareaguje i spínač ve stanici, takže postižený napáječ zůstane odepnut, ale zásobování mřížové sítě však zůstane i nadále nepřerušeno. Toto provedení má výhody hlavně v provozní jistotě a bezpečnosti, v lepším využití transformátorů a taktéž menší provozní ztráty a kolísání napětí.

Značnou nevýhodou těchto sítí jsou vyšší zkratové proudy a vysoké pořizovací náklady. Tyto sítě se také využívají z velké části u nn kabelových sítí, ale i u vn sítí. [4]



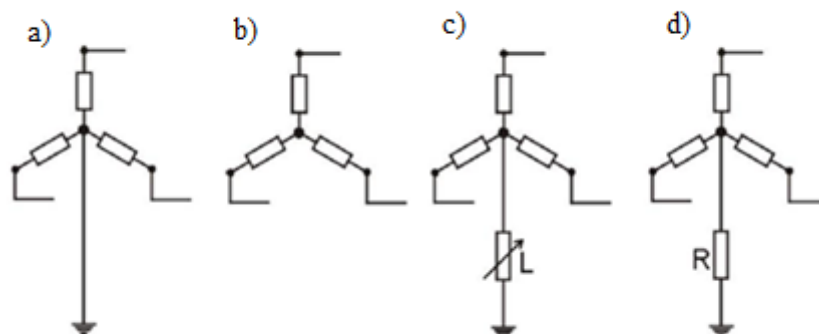
Obr. 1.6 Zjednodušená mřížová síť

#### 1.1.1.3 Rozdělení DS z hlediska způsobu uzemnění transformátoru

Základní parametry a možnosti provozu DS jsou určeny především způsobem uzemnění uzlu distribučního transformátoru, tedy přesněji způsobem spojení nulového bodu vinutí napájecího transformátoru se zemnicí soustavou. Volba systému určitého uzemnění nám definuje možnosti provozu soustavy z hlediska bezpečnosti, chránění, dimenzování či nepřetržitosti dodávky. V případě běžného bezporuchového stavu symetrické sítě se způsob uzemnění nijak výrazně neprojevuje na jejím provozu. Zásadní rozdíl zde nastává v případě poruchy, kdy dojde ke spojení fázového vodiče se zemí. Jestliže tato porucha vznikne u soustavy, jejíž uzel transformátoru bude přímo uzemněn či uzemněn přes odporník, mluvíme zde o jednofázovém zkratu a poruchový proud procházející tímto spojením dosahuje úrovně, jenž vylučují jakýkoliv další provoz postižené sítě. V tomto případě tedy musí dojít k co nejrychlejšímu zapůsobení ochrany, a tedy k úspěšnému odpojení postiženého vedení. Tímto však dojde k přerušení požadované dodávky elektrické energie k odběrateli. Kdežto u sítí izolovaných či nepřímo uzemněných se v tomto případě jedná o zemní spojení, jehož poruchový proud nepřekračuje tak vysoké úrovně a není tedy bezvýhradně nutné okamžité vypnutí postiženého vedení. Hlavní parametr tedy právě úroveň poruchového proudu je značně ovlivněna použitým systémem uzemnění a je důležitá pro určení rizika úrazu elektrickým proudem, dimenzování či vyhodnocování mechanických důsledků vlivem poruchy. Především díky velké rozloze jsou DS vystavovány mnoha nepříznivým vlivům. Jako nejčastější případ můžeme uvést atmosférické podmínky, jenž v provedení venkovního vedení způsobují velké množství přechodných zemních spojení. Tato přechodná zemní spojení v krátkém čase odezní, a to bez potřeby přerušení dodávky elektrické energie. Díky tomuto důvodu jsou přednostně DS provozovány jako neúčinně uzemněné. [1]

V současné době jsou v ČR distribuční soustavy provozovány na tyto způsoby:

- S účinně uzemněným uzlem – distribuční síť 110kV, 0,4kV.
- Izolované – průmyslové, důlní síť 22kV, 10kV, 6kV.
- S nepřímo uzemněné přes zhašecí tlumivku (kompenzované soustavy) – distribuční, síť 35kV, 22kV, 10kV, 6kV.
- S nepřímo uzemněné přes uzlový odporník – elektrárenské, průmyslové síť.



Obr. 1.7 Způsoby uzemnění transformátoru

## 1.2 Smart Grids

Co si představit pod tímto pojmem „Smart Grids“ a co z těchto slov vyplývá? Toto téma je v dnešní době čím dále více rozebíráno a projednáváno, jak mezi velkými energetickými podniky či společnostmi, tak i mezi běžnou „laickou“ veřejností, právě v souvislosti s moderním přístupem k novodobé problematice spolehlivosti a provozu energetických sítí. Přesný anglický překlad těchto již zmíněných slov zní tzv. inteligentní, popřípadě chytré sítě. S mírnou simplifikací lze konstatovat, že se jedná o technický způsob, díky kterému zajistíme možnost jakékoli regulace dodávané energie, respektive distribuci elektrické energie dle aktuální zátěže a to obousměrně, jak tedy od výrobce elektrické energie ke konečnému spotřebiteli (nejběžnější způsob), tak ale i od spotřebitele k výrobcí. Právě díky této obousměrné distribuci elektrické energie, je tak splněn jeden z nových možných rozvoju energetické infrastruktury. Způsob tohoto řízení ovlivňuje mnoho faktorů, jedním z mnoha může být například to, aby praktické využití tzv. Smart Grids komponentů mělo i ekologický přínos pro životní prostředí. Rozhodně nelze tvrdit, že Smart Grids je nějaký konkrétní typ zařízení či soubor systémů. Jde především o širší perspektivu, ne však jen z pohledu samotné možnosti regulace elektrické energie. S konceptem Smart Grids souvisí celá škála přístrojového, ale i softwarového vybavení, jež jsou pro provoz ať už distribučních nebo přenosových sítí nutností. Většina způsobů provedení regulace energetických sítí (voda, plyn, elektrická energie) jsou v dnešní době poměrně zastaralé. Proto v dnešní době s novodobým technickým rozvojem je snaha o regulaci a bezpečnost chodu energetických sítí čím dál žádanější. Z výše zmíněných předpokladů lze tedy tvrdit, že uplatnění prvků Smart Grids do stávajících energetických sítí není povinnost, ale nutnost. Čím více se začnou tyto prvky využívat, tím bude fungování celé sítě (v našem případě DS) efektivnější, ekonomičtější, ale především spolehlivější. Nelze však vždy s jistotou tvrdit, že zakomponování veškerých prvků Smart Grids do dnešních sítí, přinese v budoucnu pouze kladnou odezvu. A taktéž nelze přesně specifikovat, za jak dlouho se předpokládané výsledky projeví. Hlavní motivací distribučních společností pro nasazení Smart Grids by neměla být výhradně snaha o to, mít technicky co nejmodernější či nejvyspělejší síť, jelikož není vždy striktně předurčeno, zda tyto inteligentní prvky lze pro danou oblast uplatnit a využívat ve větším množství. Z jedné strany je modernizace sítí nezbytná, na druhou stranu jsou ale tyto prvky SG velmi drahá investice a je na každém distributorovi energetické sítě, aby tyto klady a zápory zhodnotil. Nehledě na další poměrně zásadní negativní faktor a to ten, že za aktuálního stavu by hromadná montáž prvků SG měla za následek enormní vzrůst častých odstávek pro odběratele elektrické energie.[5]

### 1.2.1 Definice Smart Grids

Existuje mnoho různých pohledů na koncept Smart Grids. To objasňuje skutečnost, že ačkoli hlavní hnací prostředky vývoje SG jsou relativně podobné v různých částech světa jsou priority a názory značně odlišné. Jako příklad lze uvést, že v rámci EU jsou prioritní výzvy spojené se začleněním obnovitelných zdrojů energie, energetické účinnosti a integrace trhu EU v rámci hospodářství bez využití uhlí. Kdežto v USA jsou prioritní výzvy vztažené především ke značnému snížení počtu výpadků elektrické energie, zlepšení poptávky po elektrické energii a celkově zlepšit spolehlivost v sítích. A na druhé světové straně v Číně, jsou priority přiřazeny především k rychlému rozvoji sítě, kde je potřeba integrovat rozsáhle větrné farmy na severu země a dosáhnout propojení mezi jednotlivými provinciemi.

První oficiální definici inteligentní sítě poskytl zákon o energetické nezávislosti a bezpečnosti z roku 2007 (EISA), jež byl schválen Kongresem ve Spojených státech amerických v lednu 2007 a podepsán prezidentem Georgem W. Bushem v prosinci 2007. Název XIII tohoto zákona poskytuje popis s deseti specifiky, které lze považovat za definici inteligentních sítí. Tento zákon popisuje, že politikou spojených států je podporovat modernizaci přenosových a distribučních soustav elektrické energie v zemi, aby se udržela spolehlivá a bezpečná elektrická infrastruktura, jež může uspokojit budoucí růst poptávky, a dosáhnout tak každého z následujících bodů, které společně charakterizují inteligentní síť:

- Zvýšit celkové využití digitálních informačních a řídicích technologií, díky kterým se zlepší spolehlivost, bezpečnost a účinnost elektrické sítě.
- Dynamická optimalizace provozu chodu sítě a zdrojů se zabezpečenou kybernetickou bezpečností.
- Nasazení a integrace distribuovaných zdrojů a výroby, především však obnovitelných zdrojů.
- Vývoj a začlenění reakce na poptávku elektrické energie, zejména menších zdrojů na straně poptávky.
- Nasazení inteligentních technologií (automatizované, interaktivní technologie v reálném čase, které optimalizují fyzický provoz spotřebičů a spotřebních zařízení) pro měření, komunikaci týkající se provozu a stavu sítě a automatizaci sítě.
- Integrace inteligentních spotřebičů a spotřebních zařízení.
- Nasazení a integrace pokročilých technologií na skladování elektřiny, včetně inteligentních zařízení na tzv. peak-shaving (např. řízení zátěžového provozu, řídicí systémy pro snižování špiček) a dále také zásuvných elektrických a hybridních elektrických vozidel.
- Odběratelům elektrické energie budou poskytovány včasné informace, a to včetně možností kontroly.
- Vypracování norem pro komunikaci a vzájemnou součinnost mezi zařízeními připojených k elektrické síti, včetně potřebné infrastruktury distribuční soustavy.
- Identifikace a snižování nepřiměřených nebo zbytečných překážek při zavádění technologií, postupů a služeb inteligentní sítě.

Pracovní skupina Evropské unie pro rozvoj inteligentních sítí (ETP) rovněž poskytuje definici inteligentní sítě. Inteligentní síť je elektrická síť, jež může hospodárně, efektivně integrovat chování a jednání všech uživatelů této sítě, kteří jsou k síti připojeni, tj. výrobci, spotřebitelé. S cílem zajistit ekonomicky efektivní a udržitelný systém s nízkými ztrátami, vysokou úrovní kvality a bezpečnosti dodávek elektrické energie. Síť využívá inovativní produkty a služby spolu s inteligentními

monitorovacími, kontrolními, komunikačními a tzv. self-healigem (samoléčebnými) technologiemi, které musí plnit následující:

- Usnadnit lepší připojení a provoz generátorů všech velikostí, včetně všech nových technologií.
- Umožnit spotřebitelům elektrické energie hrát roli při optimalizaci fungování systému.
- Poskytovat všem spotřebitelům elektrické energie více informací a možností, jak využívají své dodávky energie.
- Výrazně snížit dopad celého systému dodávky elektrické energie na životní prostředí.
- Snažit se zachovat nebo pokud je to možné i zlepšit stávající vysokou úroveň spolehlivosti systému, kvality a zabezpečení dodávek.
- Účinně udržovat a zlepšovat stávající služby.

Z výše uvedeného lze tedy konstatovat, že společným prvkem většiny definic je aplikace digitálního zpracování a komunikace do energetické sítě, díky čemuž je tok dat a správa informací ústředním bodem inteligentní sítě. Různé možnosti vyplývají z hluboce integrovaného využití digitální technologie s napájecími sítěmi. Integrace nových informací ze sítě je jedním z klíčových problémů při navrhování inteligentních sítí. Elektrické podniky nyní nacházejí tři hlavní třídy transformací: zlepšení infrastruktury sítě (např. rozlehlá síť v Číně, propojení všech jednotlivých provincií), přidání tzv. digitální vrstvy (rozloha pokrytí), transformace obchodních procesů (nezbytná pro rozvoj inteligentních technologií). Velká část práce na modernizaci elektrické sítě, zejména automatizace rozvodny a distribuční sítě, je nyní zahrnuta do obecného konceptu SG. [6]

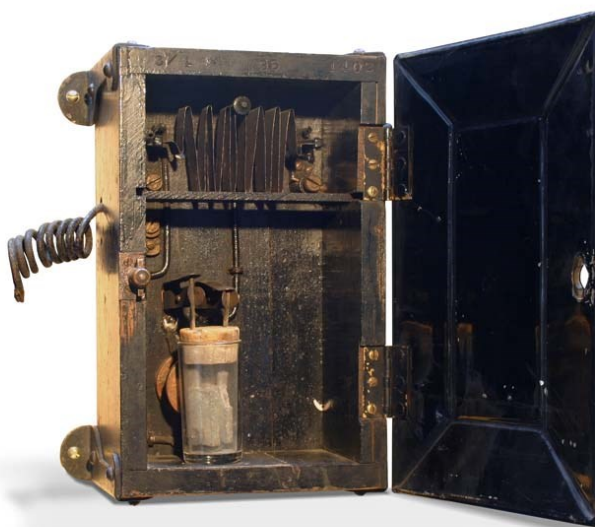
### 1.2.2 Historie Smart Grids

První elektrická síť byla využita pro osvětlení (stejnoseměrná síť) Edisonovými žárovkami v Manhattanu roku 1882. Distribuce elektrické energie na nízkém napětí zabraňovala přenosu elektřiny na větší vzdálenosti. Docházelo však ke značným poklesům napětí a k velkým ztrátám ve vedení. Do 80. let 19. století nebyl střídavý proud vnímán jako vhodná alternativa přenosu, všude se v té době využíval stejnosměrný rozvod. Zlom přišel v letech 1884 a 1885 s vynálezem prvního transformátoru, jenž umožňoval snadnou přeměnu střídavého napětí. Dalším významným krokem střídavého přenosu elektřiny bylo představení v roce 1888 více fázového systému, jehož vynálezcem byl Nikola Tesla. Vítězství střídavého proudu nad stejnosměrným bylo jasně utvrzeno v roce 1891, kdy za pomoci ruského inženýra M. Dolivo-Dobrovolskyje proběhl první dálkový přenos třífázovou soustavou na vzdálenost 175 km mezi městy Laufen a Frankfurt nad Mohanem v Německu.

Téměř současně jakmile začaly tyto elektrické rozvodné sítě existovat, začala také existovat i poptávka po zařízeních, jenž měří spotřebu a pomáhají tak dodavatelům, jak se sledováním, tak s určováním ceny za využitou energii. Cesta od prvních předběžných zařízení používaných k měření spotřeby až k dnešní technologii inteligentních sítí, kde se využívá technologie obousměrného měření, stejně tak umožňuje zapínat a vypínat zařízení podle poptávky i mimo špičkové ceny elektřiny, byla dlouhá. Aby bylo možné získat přesné informace o tom, jak se síť chovala, bylo třeba překonat mnoho překážek. Tato problematika měření existuje už více jak sto let, ale o to víc jsou tyto problémy více podobné těm, kterým čelí technologie inteligentních sítí dodnes.

Pro měření spotřebované elektrické energie vymyslel T.A. Edison měřič skládající se ze dvou elektrod v elektrolytu. Jakmile proud procházel měřičem, proud způsobil přenos kovu z elektrod. Spotřeba zákazníka tak byla vypočtena vážením těchto dvou elektrod. [7]





*Obr. 1.8 První elektroměr v podobě chemického měřice [8]*

První známý elektroměr byl patentován již v roce 1872 Samuelem Gardinerem. Elektromagnet roztočil a poté zastavil hodiny. To poskytlo informace o trvání toku proudu, ale ne o množství. V roce 1883 patentoval Hermann Aron měřič záznamu, který ukazoval energii spotřebovanou na řadě číselníků. V roce 1889 představil Elihu Thomson záznamový wattmetr. To se okamžitě stalo velmi populární měřicí technologií a umožnilo společnostem měřit množství elektřiny dodávané zákazníkovi. Od současných měřicích zařízení se však lišily výrazně, docházelo k častým poruchám, nepřesnostem měření a z ekonomického hlediska nevýnosné ne-li ztrátové. V dnešní době jsou služby elektrické sítě schopny sami odpojit zákazníka v době špičky a znovu jej připojit během období nízké poptávky. V minulosti se problémy řízení zátěže někdy postaraly sami o sebe, a to poněkud bezprostředním způsobem. Linky v případě poptávky jednoduše vyhořely, jakmile došlo k překročení dané kapacity. S rostoucí poptávkou po elektřině na distribučních sítích koncem 20. století hledaly energetické společnosti způsoby řízení špičkového zatížení. Cíl sladění spotřeby s výrobou však vyžadoval měřiče, které by kromě kumulativní spotřeby mohly měřit denní dobu spotřeby. Automatická čtecí zařízení měřidel zavedená v 70. letech minulého století byla začátkem měřičů, jež poskytovaly informace zpět do veřejné služby, což byl a je základní požadavek jakéhokoli inteligentního systému sítě. Všechny tyto technologie a vývoj více než jednoho století byly nezbytnými základy pro vybudování bezpečnější, spolehlivější a účinnější distribuční sítě elektrické energie, která se nakonec stane inteligentní sítí. [7]

### 1.2.3 Právní rámec Smart Grids sítí v ČR

Státní energetická koncepce dále jen SEK je dokument, jenž stanovuje strategické cíle a priority státu v energetickém hospodářství s výhledem na 30 let dopředu. Za stabilní energetickou politiku státu a efektivní užití energie, která nebude ohrožovat životní prostředí, nese zodpovědnost právě tento již zmíněný dokument. Koncepce byla schválena vládou 10.3.2004 a ukotvena je v §3 zákona 406/2000Sb. O hospodaření energií. Ministerstvo průmyslu a obchodu dále jen MPO vyhodnocuje naplňování státní energetické koncepce, a to nejméně jedenkrát za 5 let. O výsledcích vyhodnocení informuje vládu. V případě nezbytnosti může MPO zpracovat návrh na danou změnu SEK a poté jej předložit ke schválení vládě. [9]

V únoru roku 2010 došlo k aktualizaci koncepce. Nově byly zařazeny náležitosti věnující se sítím a principům inteligentních sítí. V koncepci došlo na rozdělení na dvě samostatné části: první část věnující se zákazníkům a měření jejich spotřeby a druhá část věnující se pouze řízení sítě. [9]

#### 1.2.3.1 *Legislativní partie v SEK a inteligentní měřicí zařízení*

Rozvoj síťové infrastruktury ČR v kontextu zemí střední Evropy, zesílení mezinárodní spolupráce a integrace trhů s elektřinou v regionu zejména vytváření podpory účinné a akceschopné společné energetické politiky EU, se vyskytuje zmínka o inteligentních měřicích (článek 4 - SEK): *“Zajistit do roku 2020 vybavení až 80 % odběrných míst inteligentními měřicími systémy a jejich zapojení do řízení distribučních soustav na podkladě zpracované studie ekonomických dopadů do regulované složky ceny.”* [9]

O plošném nasazení měřičů se bude rozhodovat podle specifikované studie v další části SEK. Konkrétně je zde zdůrazněno, že je třeba vypracovat do roku 2013 analýzu instalace inteligentních měřicích systémů jako součást komplexu tzv. inteligentních sítí zajišťujících koordinaci decentralizovaného řízení distribučních soustav a stanovení ekonomicky efektivního rozsahu jejich implementace. Na základě analýzy je třeba definovat v kodexech závazná pravidla pro vybavení odběrných míst systémy SG a nezbytná pravidla a regulační rámce pro decentralizované řízení a navazující změny v odběrných zařízeních. Současně na závěr vypracovat odůvodňující zprávu vyžadovanou směrnicí 2009/72/ES. Přispět tak k efektivnímu chování distribučních soustav by měla implementace inteligentních měřicích systémů a taktéž prostřednictvím cenových stimulů optimalizovat správné užití spotřebičů. Na základě výstupů studie a po posouzení ERÚ vypravuje MPO program této implementace, jenž kodifikuje na úrovni sekundární legislativy a současně jej předloží Evropské komisi v souladu se směrnicí 2009/72/ES. Obsah programu a studie o implementaci SG bude vyjádřen náležitou analýzou, která bude souviset s opatřením v domácích rozvodech a instalacích umožňující maximální využití úsporných efektů. Pokračováním na rozvoj inteligentních měřicích systémů zajistí ERÚ další rozvoj regulovaných tarifů a struktur, jež budou promítat s dostatečnou účinností nákladové efekty v oblasti spolehlivosti a využití sítí do tarifů. V takového souvislosti se zváží odlišení sazeb za systémové služby pro konečné zákazníky podle typu charakteru spotřeby s možností omezitelné, či přerušitelné dodávky elektřiny. [9]

#### 1.2.3.2 Řízení sítě dle SEK

Zajištění možných ostrovních provozů jde především, jak legislativními kroky, tak technickými prostředky, jež budou schopny tento provoz zajistit a řídit. Zvýšení energetické bezpečnosti a odolnosti ČR a zejména posílení schopnosti zajistit nezbytné dodávky elektrické energie v případech výskytu poruch, či vícenásobných útoků proti kritické infrastruktuře v případech déletrvajících krizí se zásobováním paliv. V kapitole 4.5 SEK zní: *“Vybudovat řídicí systémy a propojení zajišťující ostrovní napájení elektřinou všech aglomerací nad 50 tisíc obyvatel.”* V navazující kapitole 5, která se zabývá rozvojem přenosové soustavy je kladen důraz především na zlepšení řízení a mezinárodní spolupráci v Evropě. V rámci rozvoje přenosových sítí se musí napomáhat k budování přiměřených technických prostředků proti šíření síťových poruch a kontroly přetížení. Dále je v této kapitole pro distribuční soustavy výslovně zdůrazněno: *„Zabezpečit schopnost distribučních sítí v případě rozpadu přenosové sítě pracovat střednědobě v ostrovních provozech a zajistit tak minimální úroveň dodávek elektřiny nezbytných pro obyvatelstvo a kritickou infrastrukturu. V této souvislosti zajistit aktualizaci územních energetických koncepcí krajů tak, aby směřovaly k zabezpečení schopností ostrovních provozů v havarijních situacích. Implementovat soubor nástrojů umožňujících zapojení spotřeby i distribuované výroby elektřiny do decentralizovaného řízení a regulace soustavy (řízení malých domácích a lokálních zdrojů, selektivní řízení skupin spotřebičů, řízení akumulčních možností elektromobilů, atd.). V této souvislosti připravit vhodný systém technického řízení, regulace a cenotvorných a tarifních mechanismů stimuluji účast decentralizovaných zdrojů výroby a lokální spotřeby na řízení rovnováhy elektrizační soustavy.“* [9]

#### 1.2.3.3 Řízení spotřeby a zatížení v domácnostech za pomoci SG

Má podpořit rozvoj SG prvků v podobě měřících systémů a s tím spojený rozvoj systému selektivního řízení spotřeby v domácnostech. Skupinové řízení spotřeby u zákazníků na úrovni nn má zajistit rozvoj infrastruktury soustavy jejíž součástí budou inteligentní systémy. Dále u konečných zákazníků podporovat další rozvoj distribučních tarifů stimuluji využívání řízení spotřeby. Využít synergických efektů budování společného systému měření napříč dodávkou jednotlivých energetických komodit (nejen elektrická energie ale i plyn).

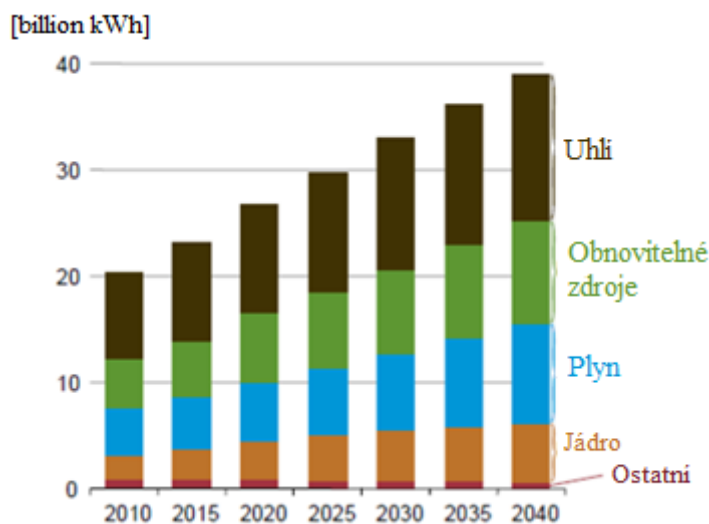
Pro rozvoj řídicích systémů na úrovni přenosových i distribučních sítí bude zaměřena speciální pozornost. Na úrovni distribučních sítí zejména na rozvoj inteligentních sítí a využívání decentralizovaného řízení sítí, výroby a spotřeby, včetně možností řízení akumulace v elektromobilech. Na úrovni přenosových sítí pak na systémy řízení spolehlivosti soustav a jejich regionální integrace, systémy řízení rizik, a především na havarijní mechanismy řízení ostrovních subsystémů. [9]

## 2 Důvody zavádění Smart Grids, popis využívaných prvků a způsoby řízení

### 2.1 Důvody a cíle zavádění Smart Grids

Energetické politiky podporující přechod na koncept SG vedl během posledních tří desetiletí silný hospodářský růst a rozšiřování populace k významnému nárůstu celosvětové poptávky po elektrické energii. Pro příští tři desetiletí mnoho prognóz jednomyslně předpovídá to, že tento nárůst bude pokračovat zrychleným tempem. K tomuto růstu taktéž přispívá ekonomický růst Číny a Indie, kde je vysoká míra zalidnění. S cílem podpořit poptávku po elektrické energii se celosvětová čistá výroba elektřiny od roku 1990 do roku 2010 prudce zvýšila. A s výhledem na dalších 30 let lze s jistotou tvrdit, že poptávka bude i nadále rapidně růst.

Očekává se, že spotřeba elektřiny u konečných uživatelů poroste rychleji v důsledku zvýšení životní úrovně a vyšší poptávky po domácích spotřebičích a elektronických zařízeních. To platí také pro rozšiřování sociálních potřeb, jako jsou nemocnice, kancelářské budovy, komerční služby, nákupní centra atd. Je proto nutno rozšiřovat poptávku po nových zdrojích elektrické energie. Zejména podle amerického ministerstva energetiky (DOE) se obnovitelný podíl zvýší z 21 % na 25 % což řadí obnovitelné zdroje energie k nejrychleji rostoucímu zdroji elektrické energie na světě (souhrnně nejvíce využívané vodní, větrné a solární energie). Mnoho zemí světa, které čelí výzvě rostoucí poptávky po energii, se zabývá dynamickou fází energetického přechodu. V mnoha regionech je výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů elektrické energie (OZE), jedná se tedy zejména o energii z přerušovaných zdrojů. Od 2012 roku bude po celém světě instalováno více než 280 GW větrných farem a přes 100 GW solárních elektráren. [10]

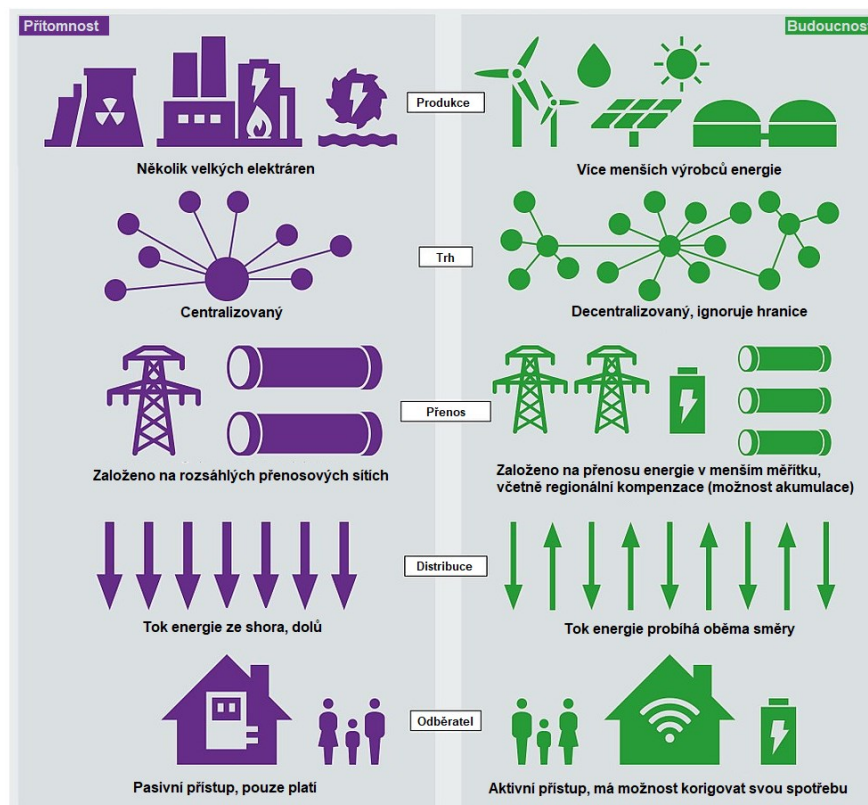


Obr. 2.9 Výhled výroby elektrické energie s ohledem na následujících 30 let

V neposlední řadě mění spotřebitelé svůj postoj k úsporám elektrické energie. Masivní zavedení elektrických inteligentních měřičů umožní rozvoj služeb na úsporu energie. Do prosince roku 2013 bylo na celém světě již nainstalováno přes 80 milionů inteligentních měřičů, z toho více než polovina v USA. V budoucnu se očekává, že tento počet dosáhne 1 miliardy SG metrů do konce roku 2020 po celém světě, podle analýzy americké společnosti Pike Research. [10]

Změny výrobních prostředků a trendy spotřeby budou mít dopad na energetické systémy na celém světě (zejména kombinace běžných zdrojů energie s rozšiřující se přerušovanou energií z OZE). Provozovatelé přenosových soustav (PPS) budou muset předvídat rizika nevyváženého poměru nabídky a poptávky, jež mohou vést až ke snížení frekvence, a tudíž k možným výpadkům. Provozovatelé distribučních soustav (PDS) budou muset připojit masivně decentralizovanou výrobu energie z OZE, dobíjecí stanice elektrických vozidel (pro akumulaci energie), modernizovat sítě a zavést prvky SG, včetně všech ostatních systémů. Energetický přechod má pro PDS zásadní dopad, a to v tom, že přerušované zdroje na principech OZE jsou převážně připojeny k DS. Jako příklad lze uvést Francii, kde na počátku roku 2014 bylo připojeno k DS přes 94 % zdrojů OZE. Aby se udržel krok s aktuálním celkovým instalovaným výkonem, musí být celková kapacita zařízení OZE téměř pětinašobně větší než kapacita současných centralizovaných tepelných nebo jaderných elektráren. Průměrná doba provozu větrných a solárních elektráren se reálně pohybuje kolem 2000 až 1000 hodin za rok. Tepelné nebo jaderné elektrárny mohou dosáhnout 7000 až 8000 hodin za rok. Na závěr porovnání těchto rozdílných zdrojů energie je nutno dodat, že výroba větrné a solární elektrárny není vždy zaručena vzhledem k nízké poptávce, která je obecně závislá na geografické poloze a typu použití. Distribuce elektřiny v Evropě zahrnuje více přes 2400 společností, jež zásobují přibližně přes 500 milionů lidí, dále provozuje přes 10 milionů kilometrů elektrického vedení, společně distribuuje přibližně 3000 TWh ročně a přímo zaměstnává více než 240 000 lidí. [10]

Skutečná výzva tak tedy spadá především pro distribuční sítě. V minulosti, jak již bylo v předešlých kapitolách zmiňováno, byly DS často konstruovány, tak aby byly provozovány radiálně. S energetickým přechodem na budoucí provoz se správa rozvodné elektrické sítě musí změnit. DS budou muset řídit složitější a vzájemně propojené sítě, které si budou muset poradit jak s odchylkami, tak i zpětnými toky z distribuce do přenosových sítí. V budoucí síti budou figurovat i nové prvky, které budou schopny omezovat zatížení sítě a vytvářet tzv. virtuální elektrárny atd. Současně se však základní principy elektrických systému nezměnily. Musí platit rovnováha mezi vyrobenou a spotřebovanou energií, přičemž lze ukládat pouze malá množství. Rovněž musí být udržovány úrovně napětí a frekvence v předepsaných mezích, tím se tedy zajistí bezpečnost, spolehlivost a stabilita dodávky elektřiny. SG prvky a systémy tak tedy nejsou pouze možností, ale váženou nutností. Aby bylo možné řešit problémy spojené s energetickým přechodem, musí být elektrické sítě pružnější a reaktivnější. To zajistí bezpečnost a spolehlivost celého systému a taktéž posílí interakce mezi účastníky trhu. Inteligentní sítě k těmto cílům přispějí kombinací pokročilých technologií elektrické sítě s informačními a komunikačními technologiemi. Hlavními principy SG jsou: shromažďování dat v sítích díky senzorům a dálkově ovládaným zařízením, analyzovat stav sítě v krátkém čase, udržovat nebo zlepšovat kvalitu dodávek vyvíjením pokročilých nástrojů a strategií pro řešení různých poruch a poruchových stavů, očekávat místní výrobu z OZE (simulovat omezení v síti), optimálně řídit interakční hybridní elektrický automobil zapojený do DS, umožnit rozvoj služeb na úsporu energie (poskytovat informace o spotřebě elektřiny a možnost povolení řídit využívání elektřiny), řídit situace ve špičkách a inteligentně komunikovat s koncovým uživatelem. PDS hrají ústřední roli při zavádění inteligentních sítí. Za spolehlivé fungování distribuční soustavy by PDS měli působit jako zprostředkovatelé, a aby pokud možno zajistili jednotné a harmonizované zavádění prvků SG, tak i zavádění nových služeb a poskytování údajů zákazníkům. [10]



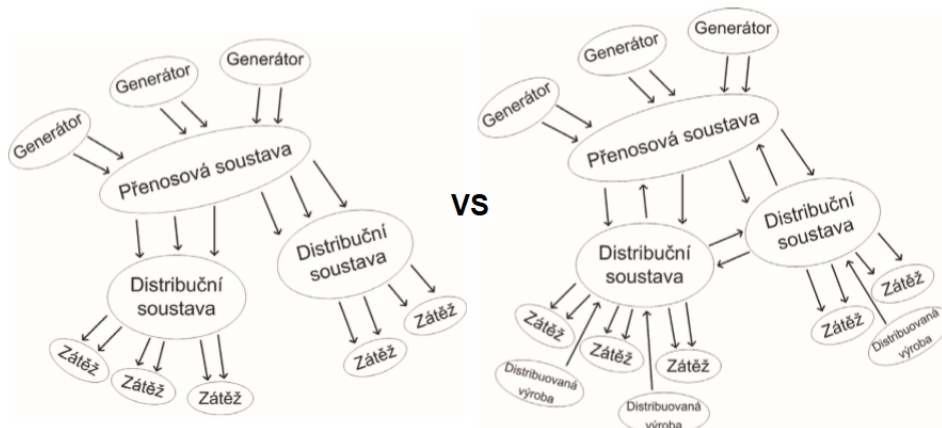
Obr. 2.10 Porovnání principů původní DS (vlevo) a konceptu Smart Grids (vpravo) [6]

Elektrická síť nepodléhá technickým revolucím, její nejstarší vybavení však trpí věkem. Optimalizace obnovy je hlavní výzvou. V dnešní době je nezbytné provozovat zařízení co nejbližší k jejich povoleným limitům a být si vědom jejich životnosti. To nám tedy zajišťuje význam monitorovacích systémů v reálném čase založených na decentralizovaných senzorech. Komunikační síť je klíčovým bodem modernizace sítě. V dnešní době to může být založeno na různých technologiích jako: krátkovlnné rádio, mikrovlnný přenos, optické vlákno, ethernet atd. To umožní připojení různých senzorů k jednomu centrálnímu monitorovacímu bodu. Tento informační a monitorovací systém si musí zachovat svou výkonnost i přes důležitý objem příchozích dat a najít rovnováhu mezi centralizovanou a decentralizovanou inteligencí. Vyspělé inteligentní síť tak budou využívat kombinaci různých technologií. Některé technologie jsou již přístupné nyní (inteligentní měřiče a automatizace), jiné zde mohou být až za 10 let (skladování energie ve velkém objemu). [10]

### 2.1.1 Rozdíly stávajících distribučních sítí a Smart Grids sítí

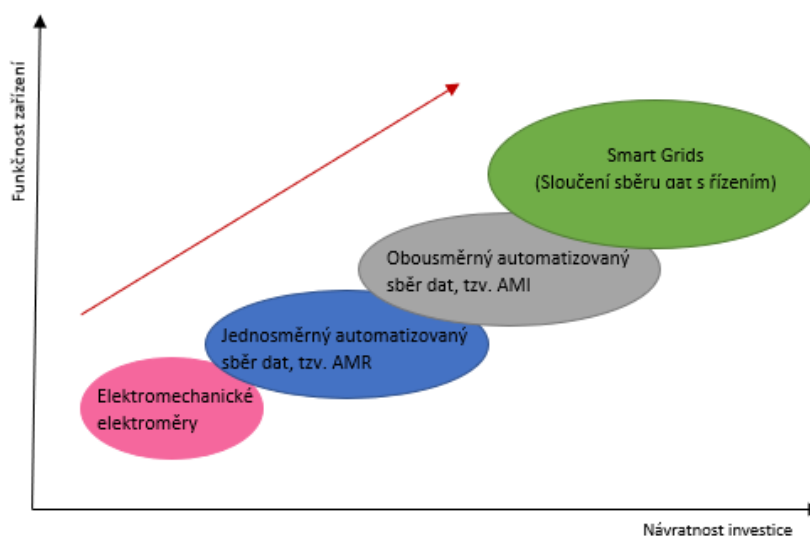
Základní model sítě, jak je znám dodnes je znázorněn na obrázku 2.11 vlevo. Počátek elektrické energie začíná ve výrobě elektřiny, tedy v elektrárně. A dále pokračuje přes přenosovou soustavu, v ČR na hladině 400 kV či 220 kV. Následuje přestup na distribuční soustavu, nejčastěji 22 kV, 6 kV či 0,4 kV a pomocí této soustavy pak ústí do odběrných míst. Přenos elektřiny tedy zjednodušeně probíhá jedním směrem, a to vertikálně. Směrem od elektráren (ze shora) do odběrných míst (dolů). Funkce Smart Grids sítí bude opačná, síť se nebudou držet klasického schématu, viz obrázek 2.11. K řízení se využije konceptu počítačové sítě. Dodávka elektrické energie tedy nebude jednosměrná (od shora dolů). Řízení a komunikace bude obousměrné. Bude tedy prakticky jedno, kde a jak se daný odběr či zdroj zapojí a vše se bude z principu řídit automaticky. Tímto způsobem se tedy značně zvýší spolehlivost

dodávky elektrické energie, protože při poruše jedné části vedení, se jednoduše dodávka energie přepojí a bude dodávána z jiné části vedení. Následným příkladem lze uvést počítačovou síť rodinného domu. Při výpadku jednoho routeru nedojde k odpojení uživatele od internetu, signál se automaticky pošle přes jiné blízké routery a uživatel ani nebude vědět, že došlo k poruše. Smart Grids sítě jsou schopny využít veškerou elektrickou energii, jenž je za potřebí, a to z jakéhokoli výrobního zdroje. Na výskyt možných nesouměrných parametrů či poruch v síti, reagují pružně a sofistikovaně. [9]



Obr. 2.11 Rozdíly mezi stávající sítí (vlevo) a mezi Smart Grids sítí (vpravo)

Na dalším obrázku 2.12 lze vidět, jak dochází k jistému vývoji Smart Grids sítí. Funkčnost jednotlivých prvků je vynesena na vertikální osu a na horizontální ose je vynesena jejich cena. Až donedávna se využívaly elektromechanické elektroměry, ty jsou z dnešního pohledu velice levné, ale neperspektivní. Pracovník distribuční společnosti musel každý jednotlivý elektroměr obejít a odečíst každou hodnotu zvlášť. S dalším postupem času se přechází na další stupeň, a to konkrétně jednosměrný automatizovaný sběr dat, tzv. AMR. Ten je v současné době předstupněm obousměrného sběru dat (AMI), na kterém se pracuje a postupně se zavádí do praxe. Náklady jsou mnohonásobně vyšší, protože je třeba zaplatit vývoj takového elektroměru, ale v budoucnu se počítá s úsporou lidské činnosti při odečtech. [9]



Obr. 2.12 Jednotlivé stupně vedoucí ke konceptu Smart Grids

Závěrečným stupněm by měla být konečná síť Smart Grids, jenž v sobě sloučí sběr dat a zároveň propojí řízení spotřeby. V této části je již uvažováno právě zapojení zákazníků do systému hromadného dálkového ovládání tím, že si daný zákazník obstará inteligentní elektrospotřebiče a jejich řízení bude ponecháno na smart elektroměru, jenž v případech, kdy to bude možné, zprostředkuje spuštění těchto inteligentních spotřebičů v nízkém tarifu (spuštění pračky, sušičky atd.). Tímto řízením dojde k rozložení spotřeby i do míst, kde je zrovna přebytek elektrické energie a je zapotřebí jej snížit. Díky tomuto principu dojde k odstranění přebytku a zároveň naopak. [9]

### 2.1.2 Důvody implementace Smart Grids

Důvody uvedené výše lze tedy shrnout do jednotlivých bodů:

- SG by měly především zvýšit bezpečnost, spolehlivost a účinnost provozu DS.
- Podle průzkumů by měla inovace SG snížit celosvětové emise CO<sub>2</sub> až o 15 %.
- SG by měly být schopny zvládnout celosvětový růst poptávky po elektřině, který může vzrůst až na dvojnásobek, právě z hlediska využití OZE.
- SG podporují rozvoj menších lokálních výroben elektřiny bez přílišného zatížení PS či DS.
- Informace získané z inteligentních elektroměrů pomůžou značně zlepšit optimalizaci mezi výrobou a spotřebou elektřiny.
- Odběratelé elektřiny budou mít mnohem větší možnost přehledu o své celkové spotřebě elektřiny a budou také schopni svou spotřebu určitých mezí řídit.
- SG jsou dále nezbytným předpokladem pro masivní rozvoj elektromobilů a ukládání elektrické energie do budoucna.

### 2.1.3 Shrnutí celkových cílů Smart Grids

Jak již bylo zmíněno, v mnoha světových oblastech se celkové definice, cíle a principy liší. Všeobecně lze však všechny poznatky shrnout následně. Úkolem SG je shromáždit a poskytnout množství informací nezbytných pro výrobce, distributory a odběratele, které by pomohly přispět ke změně způsobů chování tak, aby došlo zejména ke zlepšení bezpečnosti, spolehlivosti a účinnosti energetické sítě, došlo ke snížení možných nákladů a nabídlo alokaci zdrojů k uspokojení poptávky.[11]



## 2.2 Prvky dálkového ovládání v distribučních sítích vn

Pro budoucí rozvoj a zavedení konceptu sítí SG spolu s hlavní myšlenkou jejich řízení bude zapotřebí zprostředkovat čtení všech energetických dat v aktuálním čase. Prvním styčným bodem bude nasazení tzv. dálkově ovládaných stanic (DOS), které obsahují veškeré inteligentní komponenty v podobě elektroměrů, měřičů a speciálních řídicích přístrojů. Tyto DOS budou jako součást nových inteligentních na dálku ovládaných systémů využívaných v DS, konkrétně: dálkově ovládané odpínače (úsečníky), výkonové vypínače (reclosery) a dálkově ovládané distribuční trafostanice. Na základě aktuálně shromážděných údajů se budou konat veškeré rozhodovací procesy a umožňovat tak rychlá řešení problémů, například při vzniku poruchy či přetížení. Rovněž usnadňují rychlé manipulace při plánovaných odstávkách v síti. [12]

Pro dálkové ovládání zmíněných prvků se využívá několik řídicích systémů od různých dodavatelů. Tyto systémy jsou schopny uskutečňovat spolupráci s vyšším nadřazeným řídicím systémem, jako je například systém mikrodispečink.

### Výhody prvků dálkového ovládání v sítích vn:

- bezpečnost (je eliminováno přímé ohrožení pracovníku DS, při manipulacích),
- značné zkrácení doby nedodávky elektřiny (zlepšení ukazatelů SAIDI, SAIFI, CAIDI),
- lokalizace poruchy v daném místě (v případě poruchy dojde k vypnutí pouze konkrétního úseku vedení, a ne celé větve),
- úspora lidské činnosti při ruční manipulaci (manipulace je prováděna na dálku),
- signalizace provozních stavů,
- změny zapojení v soustavě jsou většinou bez omezení dodávky elektřiny,
- monitoring (celkový přehled o spotřebě elektřiny v dané oblasti).

### Nevýhody prvků dálkového ovládání v sítích vn:

- značně velká finanční investice,
- zvýšení četnosti odstávek (z důvodů hromadného zavádění dálkových ovládacích prvků),
- možnost ztráty komunikace nebo ovládání (ztráta signálu, přerušení komunikačního vedení, kybernetický útok atd.).

### 2.2.1 Klíčové komponenty systému dálkového ovládání

Mezi nejdůležitější komponenty dálkového ovládání systému patří:

- dálkově ovládané stanice (DOS),
- centrální a dispečerské stanice (CDS),
- komunikační síť dané oblasti.

Nedílnou součástí systému je vybavení centrální dispečerské stanice a vybavení komunikační sítě v dané oblasti či regionu. Volba a provedení DOS v systému probíhá pomocí určité adresace. Systém musí odolávat všem možným rušivým vlivům (vnější signály, statická elektrina atd.).[12]

## 2.2.2 Dálkově ovládané stanice (DOS)

Pro dálkové ovládání úsekových odpínačů, vypínačů a trafostanic v DS se využívá zařízení inteligentního systému dálkového ovládání.

### 2.2.2.1 Dálkově ovládaný odpínač (DOO)

#### Popis:

Jedná se o elektrický přístroj v DS, jenž je schopen vypínat provozní proudy až do nominálních hodnot s viditelnou rozpojovací dráhou. Využívá se zejména k rozdělení venkovního vedení hladin vn na menší úseky, z této vlastnosti se tak odvíjí jeho druhé označení úsečník (úsekový odpínač). Běžné odpínače jsou vyráběny v několika provedeních podle typu montáže. Jestliže je odpínač vypínán za běžných provozních podmínek nominální zátěží, dochází tak na vysokém napětí k obloukovému výboji. Kvůli vzniku oblouku musí být každý odpínač zaopatřen zhášecím mechanismem (olejový, pružinový, vakuový atd.).



Obr. 2.13 Ukázka DOO s máloolejovými zhášecími komorami (vlevo) a ovládací skříň (vpravo) [13]

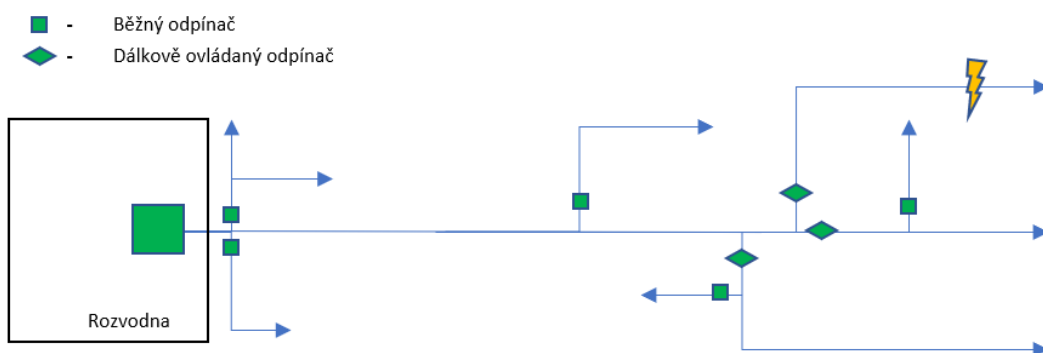
Dálkově ovládaná stanice s venkovním odpínačem se skládá z běžného máloolejového odpínače, doplněného o ovládací skříňku koncového spínače pro hlášení polohy ZAP/VYP nezávisle na stavu pohonu. Dále je na stožáru umístěn napájecí transformátor, anténa a ovládací skříň, jenž je vybavena ještě elektromechanickým pohonem. Díky velké síle pohonu, má odpínač velkou rezervu a dokáže tak se spínacími kontakty manipulovat i za vlivu silné námrazy. K sepnutí kontaktů dojde v úzké uzavřené zhášecí komoře, která je naplněna transformátorovým olejem. Dva záložní bezúdržbové akumulátory umožňují provoz DOO po dobu dalších 120 hodin bez napájecího napětí ze sítě VN. Celkově je tak DOO bez napájecího napětí provést kolem deseti cyklů manipulací VYP a ZAP. Použitá elektronika zabezpečuje i kontrolu těchto akumulátorů, a to především z hlediska poklesu kapacity či napětí. Při poklesu tak dojde k nahlášení dispečinku. Ovládací skříň je značně odolná vůči mechanickým a atmosférickým vlivům. [12]

### Ochranné vlastnosti DOO:

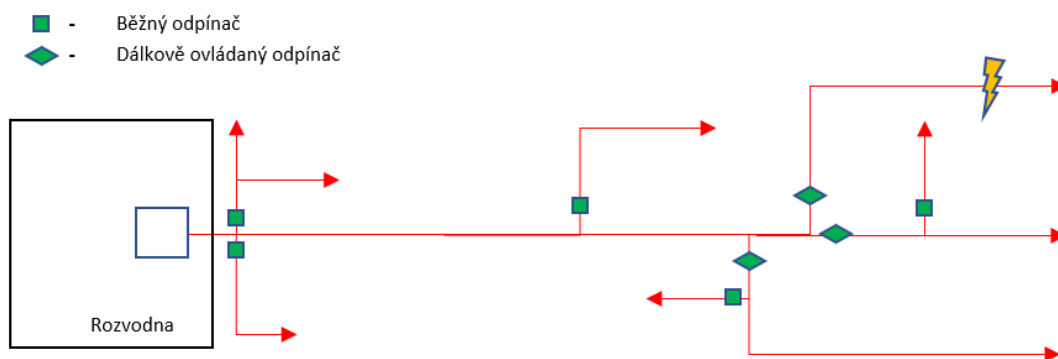
- funkce automatického vypnutí DOO na odbočce daného vedení,
- funkce signalizující překročení mezních hodnot (nadproudy),
- funkce vyhodnocování zemního spojení na vedení za DOO,
- funkce vyhodnocování proudové nesymetrie na vedení za DOO.

### Principiální nasazení dálkově ovládaných odpínačů v distribuční síti vn:

Na následujících obrázcích si uvedeme praktický příklad, využití dálkově ovládaných odpínačů v distribučních sítích vn při vzniku poruchy na určitém úseku vedení. V nejdůležitějších odbočkách vedení budou nasazeny dálkově ovládané odpínače. Modrá barva vedení značí běžný bezporuchový stav, zelená barva jednotlivých prvků představuje sepnutý prvek. Následná červená barva vedení pak představuje beznapěťový stav a nevyplněný prvek značí, že je prvek rozepnut.

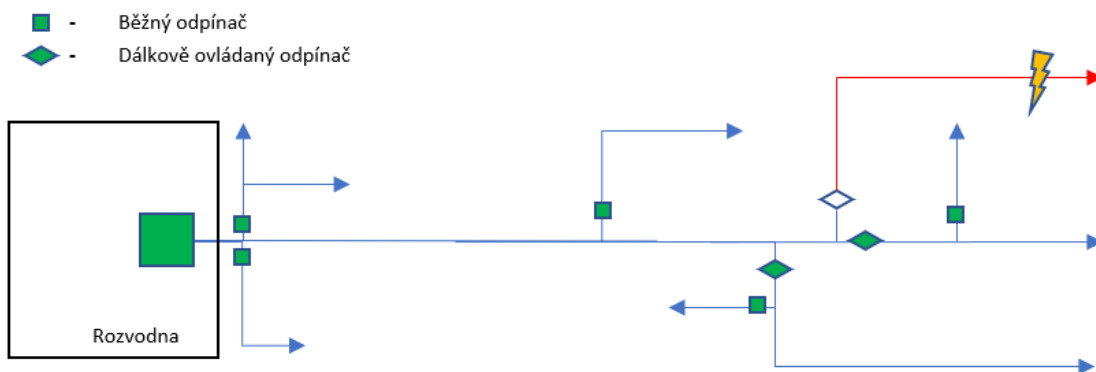


Obr. 2.14 Distribuční síť v okamžiku vzniku poruchy



Obr. 2.15 Distribuční síť při zareagování ochrany v elektrické rozvodně/stanici

Při výskytu poruchy zareaguje až ochrana, která se nachází v napájecí elektrické rozvodně (stanici) a vypne tak celou hlavní větev, včetně všech ostatních větví daného vedení, které byly v bezporuchovém stavu. Při této situaci je nejprve nutno zjistit úsek postiženého vedení, na které daná porucha vznikla. Po její následné lokalizaci dispečer rozpojí ten odpínač, jenž je poruše nejbližší. Poté uvede síť opět do běžného chodu (viz obrázek 2.16). Tímto úkonem se výrazně sníží doba výpadku v nepoškozených větvích vedení.



Obr. 2.16 Distribuční síť po lokalizaci poruchy na určeném úseku vedení

#### 2.2.2.2 Dálkově ovládaný vypínač (DOR) – recloser

##### Popis:

Jedná se o elektrický přístroj v DS, jenž je schopen vypínat a opět zapínat vedení pod zkratem (tzv. reclosing), konkrétně do hodnot zkratových proudů až 12,5 kA. DOR je umístován na sloupy venkovního vedení na počátky úseků za rozvodnami, k rozdělení delších úseků vedení, na dlouhé odbočky vedení nebo se umísťuje na tzv. klíčová místa. Například jeli místo, kde dochází ke spojení dvou větví z dvou rozdílných rozvodn, nebo místa kde jsou důležití odběratelé atd. Zásadní předností DOR oproti DOO je schopnost vypnout i poruchový proud a následná možnost funkce opětovného zapnutí (OZ). V případě přechodné poruchy na venkovním vedení zajistí funkce OZ okamžité obnovení dodávky elektrické energie. Kvalitativně však jde o nejvyšší vypínací zařízení, proto se právem jedná o nejnákladnější typ vypínače. Podle typu provedení může být vakuový, SF<sub>6</sub>, mechanický.



Obr. 2.17 Ukázka DOR s vakuovým provedením (vlevo) a ovládací skříň (vpravo) [14]

DOR většinou působí v součinnosti s vhodnou komplexní ochranou. Nejčastějším provedením venkovních recloserů v DS je provedení vakuové, typu GVR viz obrázek 2.17. Jejich výhodou jsou poměrně malé rozměry (oproti běžným vypínačům) a nízkoenergetický magnetický pohon, který je napájen akumulátorovými bateriemi. Vakuový vypínač s pohonným mechanismem je uložen do

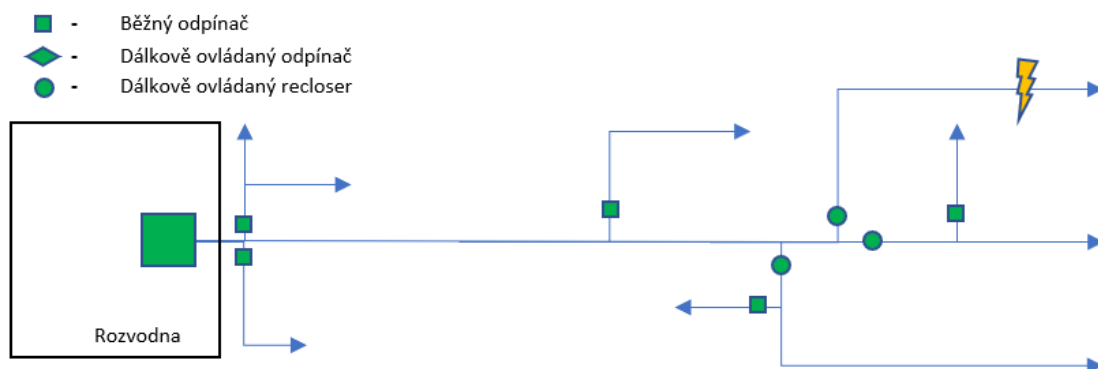
plynotěsné hliníkové skříň. Tato skříň je naplněna plynem SF<sub>6</sub>, jenž zde plní funkci izolačního média. Součástí DOR je také anténa, skříň dálkového ovládaní, snímače proudu, napěťový transformátor a v neposlední řadě i svodiče přepětí. Uvnitř ovládací skříň je umístěna radiostanice, ochrana recloseru, řídicí modul, napájecí a pomocné obvody a topení s termostatem. DOR je v běžném chodu napájen pomocí dvoupólového izolovaného transformátoru. Při ztrátě napájení (vznik poruchy) je DOR napájen z akumulátorů, které umožňují běžný provoz až po dobu 80 hodin. Vakuové reclosery typu GVR jsou bezúdržbové až po dobu 10 let, nebo do 10 000 spínacích operací. Celá ovládací skříň je chráněna. [12]

#### Ochranné vlastnosti DOR:

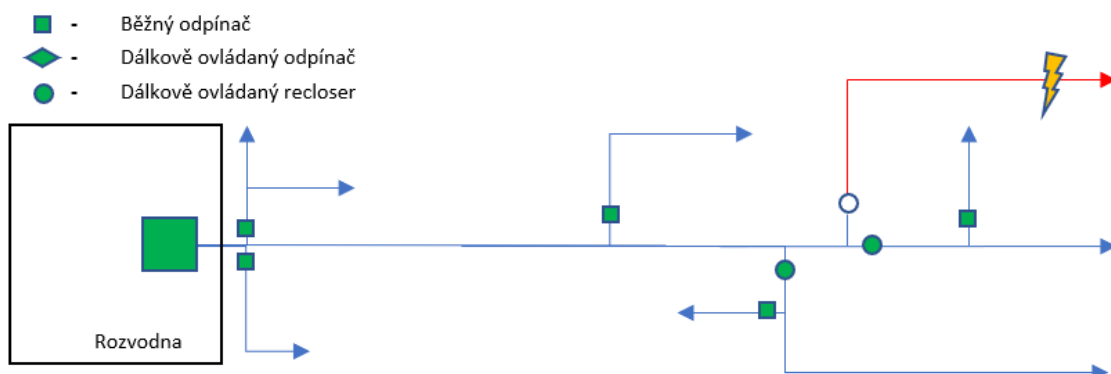
- funkce zkratové ochrany,
- funkce nadproudové ochrany,
- funkce zemní směrové ochrany,
- funkce signalizace proudové nesymetrie,
- funkce opětovného zapnutí (OZ).

#### Principiální nasazení dálkově ovládaných recloserů v distribuční síti vn:

Na následujících obrázcích si uvedeme praktický příklad, využití dálkově ovládaných recloserů v distribučních sítích VN při vzniku poruchy na určitém úseku vedení. V nejdůležitějších kritických bodech vedení budou nasazeny dálkově ovládané reclosery. Modrá barva vedení značí běžný bezporuchový stav, zelená barva jednotlivých prvků představuje sepnutý prvek. Následná červená barva vedení pak představuje beznapěťový stav a nevyplněný prvek značí, že je prvek rozepnut.



Obr. 2.18 Distribuční síť v okamžiku vzniku poruchy



Obr. 2.19 Distribuční síť při zareagování dálkově ovládaného recloseru

■ - Běžný odpínač  
 ◆ - Dálkově ovládaný odpínač  
 ● - Dálkově ovládaný recloser

#### 2.2.2.3 Dálkově ovládaná trafostanice

38



zdrojem elektrické energie v podobě akumulátorových baterií, aby byl možný monitoring a případné řízení v době poruchy, bez napájecího napětí ze sítě. Ovšem značnou nevýhodou jsou opět velké pořizovací náklady na začátku.[15]



*Obr. 2.21 Příklad dálkově ovládané kioskové trafostanice [15]*

### 2.2.3 Komunikační síť

Na komunikační síť se klade důraz vzhledem k poloze a umístění daného měřidla, podle aktuální vzdálenosti od dispečinku by se měl vybrat nejvýhodnější typ komunikační sítě s nadřazeným systémem. Komunikační technologie využívají k přenosu informace různé prostředky a typy sítí. Otázkou však zůstává to, zda se neoplatí využívat pouze jednu komunikační technologii, kde by byla možnost daleko lepšího přehledu a jednoduchosti, než využít kombinaci více komunikačních technologií, za cenu velmi komplikovaného systému. Taktéž je při výběru třeba brát v potaz, že některé komunikační technologie nelze všude uplatnit (špatný signál, omezení kvůli vzdálenosti, rušení atd.). V současné době se nejvíce využívají tyto typy:

- Rádiová síť – přenos dat probíhá především bezdrátovou komunikací, pro přenos dat se využívá především kmitočtů v datových pásmech 80 MHz a 450 MHz. Pro dálkové ovládání se rezervuje samostatný kmitočet. Přesměrování spojení je umožněno pomocí dálkové parametrizace DOS. Značnou výhodou je tedy nepotřeba komunikačních vodičů. Vzdálenost komunikace může být na několik stovek metrů, až kilometrů.
- Síť GSM – v současné době se jedná o nejrozšířenější systém pro mobilní komunikace ve světě. Přesný název je Global System for Mobile Communication, jde v tomto případě o datovou síť, která je paketově orientována. Data se přenáší v paketech po sdílené přenosové kapacitě sítě GSM. DOS je připojen trvale, avšak účtovaná jsou pouze přenesená data (kbit) a ne doba spojení. Rychlost přenosu dat je zhruba v desítkách kbit/s. V současné době se jedná o nejrozšířenější standard pro mobilní telefony ve světě.
- Síť GPRS – General Packet Radio System je rozšíření sítě GSM a díky tomu umožňuje rychlejší přenos dat, teoreticky až stovky kbit/s. Technologie používá pakety a pracuje na protokolu IP (Internet protocol).

- Spojení sdělovacími nebo optickými kabely – tento typ přenosu využívá k přenosu informací především vedení elektrické sítě (optický kabel se zavádí do zemnicího lana vedení). Největší využití je u trafostanic, kde je přiveden daný kabel. Tento typ komunikační technologie, má na rozdíl od výše zmíněných značnou výhodu v tom, že přenášená data mají naprostou odolnost vůči průmyslovému rušení.

V praxi se obvykle využívají kombinace daných sítí, obvykle například rádiová síť a optický kabel. Komunikace (povely, alarmová hlášení) spočívá na vzájemném potvrzování zpráv mezi CDS a DOS. Díky tomuto potvrzování tak nemůže dojít ke ztrátám informací v případě dočasně zhoršené kvality spojení mezi prvky. Příslušná stanice zprávu opakuje až do potvrzení. Komunikační protokoly u všech typů sítí mají vysoký stupeň zabezpečení, aby se tak předešlo zkreslením v případě poruch. [12]

## 2.2.4 Sběr dat

Do dnešní doby se činnost odečítání prováděla tak, že zaměstnanec PDS osobně kontroloval a zapisoval údaje o stavu elektrické energie z měřicích míst v pravidelných časových intervalech. Novodobé technologie nyní však umožňují tuto činnost provádět vzdáleně, a v jakémkoli okamžiku, a to bez nutnosti osobní kontroly zařízení.

### 2.2.4.1 *Automated Meter Reading (AMR)*

Neboli automatické odečty a tzv. jednosměrný sběr dat. Systém se využívá především k odebírání dat u koncového zákazníka. Nashromážděná data jsou pak pomocí komunikační technologie odesílána k následnému zpracování, které se provede v datové centrále. Jedná se o zlepšení způsobu odečítání hodnot, není potřeba lidské činnosti v daném místě měření. Data se odešlou automaticky v určitých časových intervalech. [16]

### 2.2.4.2 *Automated Meter Management (AMM)*

Jde o systémy s tzv. obousměrným sběrem dat. Systém je schopen naměřená data, jak odesílat, tak je i přijímat. Jedná se tedy o značně vylepšenou funkci předešlého systému AMR. Díky přijímaným informacím, se tedy rozšiřují obzory PDS. Například tak provést dálkové odpojení příslušného místa (v případě neplacení). Díky výše uvedeným vlastnostem je systém AMM schopen nahradit kombinaci dvou systémů, a to AMR a HDO (hromadné dálkové ovládání). [16]

### 2.2.4.3 *Automated Meter Infrastructure (AMI)*

Opět se jedná o systémy s tzv. obousměrným sběrem dat. Z uvedeného názvu však vyplývá, že se jedná o rozšíření dalších funkcí konceptu AMM. Nejdůležitější vlastností tohoto systému je schopnost řízení tzv. inteligentních spotřebičů. Tyto spotřebiče budou řízeny za pomoci vyhodnocených dat (přijatých a odečtených informací). Lze tedy tvrdit, že jde o mnohonásobně chytřejší původní systém AMM. Na závěr je však třeba zdůraznit vysoké nároky na komunikaci (rychlost přenosu dat hraje klíčovou roli). [16]

### 2.2.4.4 *Smart Grids*

Systém je posledním evolučním článkem z řetězce předchozích systémů (viz obrázek 2.12). Jedná se o nejvyšší možný způsob řízení a měření. Momentální situace v ČR je zhruba na úrovni AMR a AMM, v budoucnu se předpokládá a plánuje, že tento Smart Grids systém plně nahradí dosavadní systém HDO. Tento systém poskytuje možnost řízení inteligentních spotřebičů, tak jako tomu bylo v předchozím AMI. Avšak jako další možnou funkci je zde zahrnuto i plánování spotřeby elektrické energie (například v době špiček atd.). Výhodou oproti všem předešlým způsobům je to, že bude



možnost odečtu informací, a to v reálném čase. Při vzniku poruchy tak například PDS rychle pozná, která část vedení, nebo jaké obytné domy jsou poruchou postiženy. [16]

### 2.2.5 Centrální a dispečerská stanice (CDS)

Řídící pracoviště dispečera je sestaveno z komunikační programovatelné centrály a ze stolní stanice typu PC, jenž je vyčleněna výhradně pro řízení a monitorování stavu daného úseku distribuční sítě. Počítačová stanice je vybavena dispečerským softwarem, který zobrazuje aktuální stav distribuční sítě a reaguje na zásahy dispečera. Veškeré hlášené provozní stavy jednotlivých DOS a zásahy dispečinku jsou zaznamenávány do databáze. Dispečer má k dispozici údaje o poloze každého prvku (zapnuto, vypnuto, mezipoloha), dále o průchodu zkratového proudu, neporušenosti dveří, stavu záložní baterie a přítomnosti napětí v síti vn, popřípadě další signalizace. [12]

### 2.2.6 Řídící systémy

Řídící systémy slouží pro zpracování signálu a řízení komunikace. Řada distribučních firem tyto řídicí systémy dodává k dálkově ovládacím prvkům.

#### 2.2.6.1 Funkce řídicího systému DOS

Při řízení komunikace a zpracování informací se využívá celá škála osvědčených systému s různými typy protokolů. Nejběžnějším je telemetrický modulární systém ADAM od firmy Advantech a radiomodem RM 9600. Systém je vhodný pro stanice s velkým počtem ovládaných prvků a signalizačních stavů, kde je umožněno programování složitých logických operací. Řídící systém DOS je odolný vůči poruchové komunikaci a má možnost dálkové parametrizace jednotlivých DOS. Systém umožňuje tyto funkce:

- dálkové zapnutí a vypnutí,
- automatické vypnutí při neúspěšném OZ nadřazeného vypínače,
- dálkové blokování povelů,
- měření proudu ve všech fázích,
- měření sdruženého napětí,
- signalizace překročení mezní hodnoty proudu,
- signalizace působení nadproudové, zemní a zkratové ochrany,
- signalizace poruchy ochrany,
- počet OZ.

DOS na základě příchozích informací z CDS zajišťuje ovládání spínačů s vyhodnocením správnosti funkce a odesílá údaje o stavu spínače (zapnuto, vypnuto, mezipoloha), o korektnosti provedené manipulace, o ruční manipulaci s vypínačem, o neporušenosti a uzavření dveří DOS, stavu aktuální záložní baterie DOS a případné snímané hodnoty proudů a napětí v DS, synchronizaci času.[12]

#### 2.2.6.2 Funkce řídicího systému pro dispečerské řízení

Řídící dispečerský systém je určen pro potřeby ovládání a monitorování spínacích prvků systému dálkového ovládání v sítích vn. Systém řízení je univerzální a je navržen tak, aby bylo umožněno z jednoho centra řídit velký počet na sobě nezávislých oblastí. Systém je autonomní, nebo připojitelný k vyššímu řídicímu systému jako subsystém. Napojení na nadřazené řídicí systémy (například Mikrodispečink), je možné za pomoci běžných komunikačních protokolů. Cílem systému je

propojení jednotlivých DOS s nadřazeným systémem. Dalším úkolem je hlídat jejich funkčnost pravidelnou kontrolou. Tento řídicí a informační systém umožňuje:

- Ovládání spínacích prvků.
- Monitorování chodu sítě (stavy spínacích prvků, poruchová hlášení, provozní stavy zařízení), případně měření proudu a napětí.
- Selektce poruchových hlášení a jejich následné zpracování.



Obr. 2.22 Příklad systému pro dispečerské řízení [17]

Software pro dispečerské řízení se skládá ze tří samostatných modulů (modul řídicí, modul monitorovací a editor schémat), které pracují nad společnou bází dat. [12]

## 2.3 Prvky dálkového ovládání v distribučních sítích nn

Pro budoucí rozvoj a zavedení konceptu sítí SG spolu s hlavní myšlenkou jejich řízení bude zapotřebí zprostředkovat čtení všech energetických dat v aktuálním čase. Základem tzv. „smart meteringu“ by mělo být hromadné nasazení smart (inteligentních) elektroměrů do většiny běžných domácností. Veškeré rozhodování o aktuální bilanci elektřiny se bude dít na základě shromážděných údajů o spotřebě a výrobě.

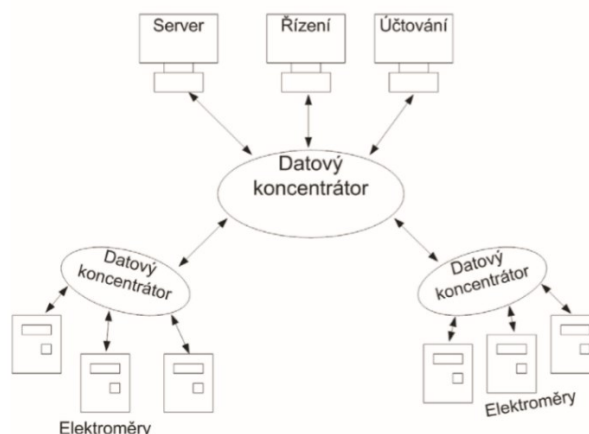
### 2.3.1 Smart elektroměry

Tyto elektroměry se v současné době nasazují do systému sběru dat na principu AMI, jenž byl popsán v kapitole 2.2.4.3. Tento systém za pomoci AMM sbírá a potom dále posílá naměřená data z nasazených elektroměrů, které u sebe mají nasazené jednotliví zákazníci. Dochází tak k odečítání aktuálních hodnot (maximálně až k odečítání čtvrt hodinových hodnot).

#### 2.3.1.1 Komponenty zajišťující novou strukturu AMI

Pro modernizaci současné struktury AMM, je potřeba vylepšit současnou infrastrukturu systému na koncept principu AMI. Klíčovou funkcí zde opět hraje obousměrná komunikace mezi měřidlem a centrálou distributora. Aby bylo splněno inteligentní měření musí být zajištěna důkladná komunikace mezi milionem různých uzlů. Zprvu se musí zajistit správný komunikační systém, ten zprostředkuje cestu přenášených informací mezi smart elektroměrem a datovou centrálou distributora. Výběr optimální cesty hraje ve sběru dat klíčovou roli. Optimalizace několika odběrných míst trvá i několik

dnů. Značnou výhodou inteligentní infrastruktury je, že každý prvek v síti má svou jednoznačnou identifikaci. Lze tedy přesně identifikovat každé koncové zařízení v síti. Díky této vlastnosti se tedy nabízí mnoho nových možností využití. Jako příklad lze uvést již zmíněné dálkové odpojení od sítě, v případě neplatičů.



Obr. 2.23 Infrastruktura inteligentní sítě

Na obrázku 2.23 je znázorněna základní topologie inteligentní sítě. Naměřená data ze smart elektroměrů jsou shromažďována v datových koncentrátorech. Způsoby přenosu těchto dat jsou možné za využití: silových kabelů (komunikace PLC), LAN sítě, wi-fi sítě, GPRS sítě. Již v této fázi přenosu je nutno zajistit bezpečnost a šifrování dat, aby nedošlo k nežádoucímu odposlechu či jiného zneužití. Zmíněný problém je také předmětem mnoha diskuzí a debat (bezpečnost přenosu). Také nakládání s daty, kde je nutné jejich následné ukládání (střet se zákonem na ochranu osobních údajů). Jedním z obav může být například to, že ze získaných dat by byla každá osoba schopna určit to, kdy je konkrétní odběratel elektřiny pryč ze svého objektu a kdy ne. Právě díky aktuálnímu odběru elektřiny.

Datový koncentrátor je zařízení sloužící ke sběru dat v předem definovaných časových okamžicích, v reálné době nebo na konkrétní vyžádání. Zařízení slouží taktéž k zálohování a ukládání dat. V systému inteligentního měření je takovýchto datových koncentrátorů několik. Ty základní jsou na úrovni panelového domu, nebo na úrovni několika odběrných míst v ulici. Sdružují několik desítek samostatných elektroměrů. Nad těmito koncentratory jsou další nadřazené koncentratory sdružující data z předchozích úrovní tak, aby nedošlo k zahlcení sítě, případně ke ztrátě dat při zpracování a přenosu. Další důležitou funkcí datového koncentrátoru je možnost přijímat zprávy od nadřazeného pracoviště a předat zprávy podřízeným elektroměrům. Jde především o úkony k odpojení elektroměru a vyžádání si aktuálních hodnot.

Na konci celého řetězce přenosu dat je řídicí systém distributora elektrické energie. Distributor vykonává dohled a správu nad celou sítí, dále zpracovává data a fakturaci za spotřebovanou elektrickou energii. Distributor spravuje server, který provádí a řídí odečty spotřeby. Zajišťuje ověření správnosti měření (porovná odečtený údaj s předchozím atd.). Dále i zpracuje automaticky statistiky (výkaz spotřeby za den, týden, měsíc, rok).

Jiným systémem je předávání dat zainteresovaným stranám na trhu s elektrickou energií. Předávají se zákonná data operátorovi trhu elektřinou, obchodníkům s elektrickou energií a dalším zákazníkům.

Například další systém SCADA umožňuje zobrazovat provozní informace o soustavě. Distributor zde může sledovat zatížení v dané lokalitě nebo v daném čase. Případně při poruše systém zobrazí hlášení, kde k poruše došlo a informacemi nutnými pro brzkou opravu. Tento systém také umožňuje dálkové odpojení zákazníka.

Vlastností řízení umožní upozorňovat na nutnou regulaci odběru (např. při přetížení sítě). Další informace může být upozornění na překročení limitů sjednaných pro účíník, kde v případě překročení hrozí penalizace. Tento systém dále počítá s tím, že v budoucnu může dojít k rozšíření na poslední stupeň infrastruktury smart grids sítě, to umožní rozšíření o více tarifů a funkcí (zlepšení využití systému HDO). [9]

### 2.3.1.2 *Přínosy pro odběratele*

Pro každý odečtený údaj je v systému distributora zaveden uživatelský účet, který se plánuje zpřístupnit v blízké době přes internet a odběratel tak bude moci sledovat svou spotřebu, a to přímo on-line (stejně jako internetové bankovníctví). O své celkové spotřebě bude tedy mít odběratel maximální přehled. Díky těmto znalostem bude odběratel moci změnit své chování, co se týče spotřeby elektrické energie. Uživatel smart elektroměru si tak bude moci navolit automatické spouštění energeticky náročných spotřebičů (myčka, pračka, sušička atd.) na dobu mimo největší špičku odběru. Vyvaruje se tak nejdražšímu pásmu ceny za elektřinu.

V blízké budoucnosti budou mít odběratelé v domácnostech informační smart displej, na kterém bude aktuální bilance o spotřebě, případně statistická vyhodnocení svého energetického chování. Pokud by se v budoucnu přešlo na nákup elektřiny přes předplatný systém, zákazník na tomto displeji uvidí výši zbývajících kreditů (podobný předplatný systém jako u mobilních operátorů). [9]



Obr. 2.24 Smart elektroměr [18]

### 2.3.1.3 *Přínosy pro distributora*

Pro distributora má zavedení inteligentních elektroměrů přínos v úspoře nákladů za odečet z elektromechanických elektroměrů. Díky infrastruktuře AMI již není vyžadován manuální odečet hodnot na daném místě elektroměru (ušetření lidské činnosti). Dále díky integrovanému odpojovacímu relé bude mít distributor možnost dálkově odpojit zákazníka (neplátiči za dodanou elektrickou energii). Další způsob kontroly je i díky odečtu v jednom daném okamžiku u všech zákazníků připojených na jednu distribuční stanici a zároveň odečtu dodávaného výkonu v distribuční stanici napájecí dané zákazníky. Je to tak účinný prostředek vůči neoprávněným odběrům tzv. „na černo“. [9]

## 2.4 Smart Grids ve světě

Jak již bylo zmíněno výše, každá země má svou vlastní jedinečnou definici tzv. „inteligentní/chytré sítě“ založenou mnohdy na svých politických a ekonomických cílech. Právě z těchto důvodů každá země přistupuje k dosažení inteligentní sítě odlišně. Ve všech zemích světa dochází k plošné transformaci energetického systému. Tato proměna představuje enormní nárůst obnovitelné energie a činí tento energetický systém náchylný, je proto zapotřebí inovace nových inteligentních prvků. Za pomoci těchto implementací lze dosáhnout vyšší ekonomické účinnosti. Taktéž vyššího přenosu energie a vyšší spolehlivosti. Hlavním cílem je tedy především snížit závislost jednotlivých zemí na fosilních palivech. Mnoho zemí si stanovilo za cíl dosáhnout v budoucnu 100 % energie čistě z obnovitelných zdrojů. S tímto tématem však dochází k mnohým otázkám a obavám z pohledu stability a spolehlivosti sítě. [6]

### 2.4.1 Smart Grids v zahraničí

Podle Mezinárodní energetické asociace se odhaduje, že do roku 2040 bude součástí globálního energetického systému 11 miliard inteligentních zařízení ve více než 1 miliardě domácností. V popředí této inteligentní revoluce bude rostoucí počet inteligentních elektroměrů, měřičů, ovládacích prvků a dalších zařízení, která pomáhají odběratelům elektrické energie sledovat a řídit jejich spotřebu. Díky vývoji nových technologií se náklady na inteligentní měřiče v posledním desetiletí zmenšily zhruba o jednu čtvrtinu. Do roku 2012 bylo evidováno na více než 600 milionů těchto zařízení po celém světě a ve velké většině těchto zemí lze evidovat pouze pozitivní výsledky.

V Evropské unii jsou projekty Smart Grids hojně podporovány Evropskou komisí v rámci programu pro vědu, výzkum a inovační technologie. Legislativa Evropské unie se snaží dosáhnout toho, aby koncem roku 2020 bylo vybaveno inteligentními měřidly až 80 % odběratelů elektrické energie. [19]

#### 2.4.1.1 Austrálie

Během následujících deseti let, dojde k odstavení většiny uhelných elektráren. Skončí jejich předpokládaná životnost a australská vláda počítá s tím, že převážnou část nahradí OZE. Z tohoto důvodu se australská vláda dále zavázala, že hodlá v následujících letech investovat více než 100 miliónů amerických dolarů na podporu inteligentních, řídicích prvků v distribučních sítích. V roce 2010 bylo nasazeno přes 50 tisíc inteligentních měřičů, s tím že se v budoucnu počítá i s integrací napájecích stanic pro elektromobily. V Austrálii je však přijetí konceptu Smart Grids bráněno nedostatkem závazků na úrovni služeb pro podniky, jenž se zabývají distribucí elektřiny. [19]

#### 2.4.1.2 Brazílie

Brazílie je 8. největším spotřebitelem elektrické energie na světě. Její spotřeba v posledních letech výrazně narostla, a to v důsledku vysokého hospodářského růstu. Největší podíl na výrobě elektřiny mají vodní elektrárny, které se však nacházejí ve velkých vzdálenostech od požadovaných center poptávky. Díky těmto skutečnostem pak dochází k enormním přenosovým a distribučním ztrátám. Nehledě nato, že v období dešťů či sucha, dochází k velkému kolísání výroby elektřiny, což v minulosti vedlo několikrát až k přerušení dodávky elektřiny v zemi. Brazílie proto doufá, že podporou rozvoje a implementace inteligentních prvků pomůže v budoucnosti vyřešit všechny zmíněné problémy. Již v roce 2012 brazilská vláda schválila výstavbu nových elektráren, aby bylo zamezeno výpadkům, výroby elektřiny v důsledku sucha. A dále vydal ustanovení, že všem novým rezidenčním a venkovským spotřebitelům elektřiny bude poskytnut inteligentní měřič. Stávající zákazníci si o tento měřič mohou

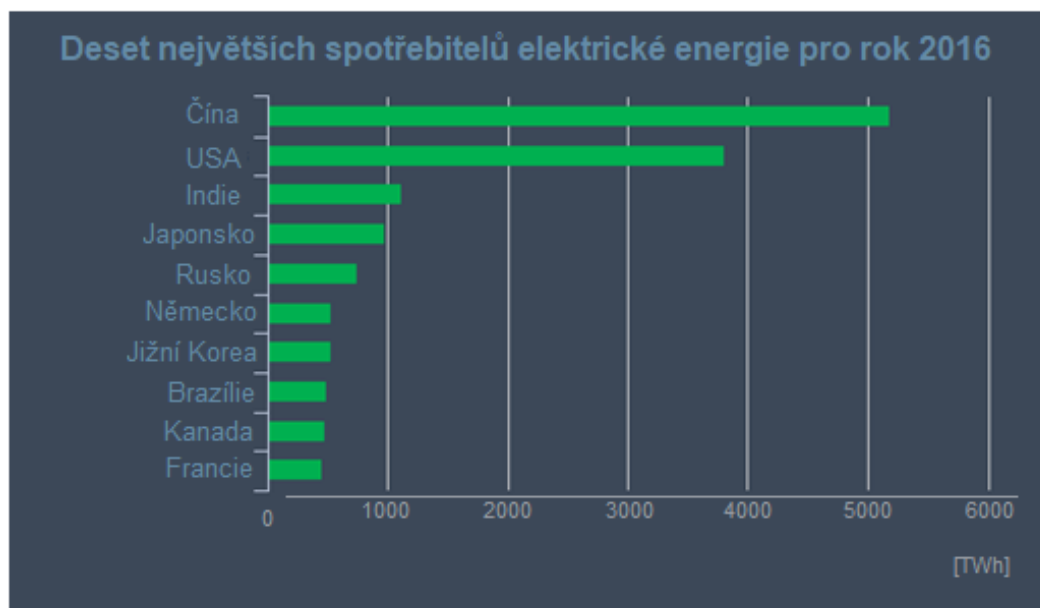
požádat zdarma. Provozovatelé distribučních soustav odhadují, že do roku 2030 bude nainstalováno na 27 milionů inteligentních měřičů, včetně ovládacích prvků atd. Doufá se, že tento krok pomůže značně snížit netechnické ztráty. [19] [20]

#### 2.4.1.3 *Kanada*

Kanada patří taktéž mezi jedny z nejvýznamnějších výrobců elektrické energie z OZE. Výroba elektrické energie vodních elektráren přesahuje více jak 50 %. Kanadská vláda se proto v roce 2016 rozhodla investovat do vývoje a inovace inteligentních prvků v distribučních sítích více než 220 milionů kanadských dolarů. Počátkem roku 2015 bylo v Kanadě evidováno na 9 milionů aktivních inteligentních měřičů v domácnostech. Což je zhruba 70 % pokrytí celé distribuční sítě v Kanadě. V roce 2019 byl navíc kanadskou vládou schválen speciální projekt Smart Grids za 50 milionů kanadských dolarů. Kde v následujících letech, ve státě Ontario, má vzniknout největší možný koncept Smart Grids. Dojde zde k zavedení tzv. microgridů a dalších nových řídicích prvků. Distribuční síť bude taktéž otevřena volnému trhu s elektřinou a budou zde zakomponovány i prvky tzv. self-healingu a mnoho dalšího. [20]

#### 2.4.1.4 *Čína*

Pokud je rozebírán koncept Smart Grids nesmí se zapomenout na Čínu. Čína je největší spotřebitel a zároveň výrobce elektrické energie na světě. V dnešní době je stále více rozebírán problém přenosu elektrické energie, ze severovýchodních provincií Číny (kde se nachází většina elektráren), do jihovýchodních provincií. Čína proto rokem 2019 uvedla do provozu i nové přenosové UHV DC vedení napříč celou republikou, které má spojit jednotlivé provincie. [19] [20]



Obr. 2.25 Celková spotřeba elektrické energie pro rok 2016 podle OECD

Jako další čínská vláda investuje obrovské jmění právě do inovace a vývoje přenosových a distribučních sítí. Bylo odhadováno, že do konce roku 2020 čínská vláda investovala do inteligentních měřičů a řídicích prvků přes 1 bilión amerických dolarů. A celkový počet inteligentních měřičů v domácnostech je odhazován na 780 milionů, což je v dnešní době zhruba 65 % všech inteligentních měřičů na světě. [19] [20]

#### **2.4.1.5 Jižní Korea**

Jižní Korea má v plánu do roku 2030 se stát prvním státem s tzv. „celostátní inteligentní sítí“ ačkoli v současné době lze tvrdit, že Švédsko či Itálie mají zatím značný náskok. Provozovatelé a vývojáři inteligentních sítí touží čelit výzvě spojené se změnou klimatu. Snaží se tak zlepšit svou energetickou bezpečnost a tím i obchodní bilanci, snížením závislosti na fosilních palivech. V současné době také korejská vláda schválila další program v rámci inovace Smart Grids ve výši 65 milionů amerických dolarů a do konce roku 2030 zřídit více jak 30 tisíc dobíjecích stanic pro elektromobily. V Jižní Koreji bylo dodnes evidováno přes 10 milionů inteligentních měřičů ve více než 15 miliónech domácností. [20]

#### **2.4.1.6 Itálie**

Největší italský provozovatel distribuční soustavy Enel, začal zavádět inteligentní měřiče již v roce 2001 a od roku 2006 platí v Itálii povinná instalace všech nových inteligentních měřidel. V Itálii je dodnes evidováno na 32 milionů inteligentních měřičů, což je zhruba 99 % pokrytí všech domácností v Itálii. Celková investice do „inteligentní distribuční sítě“ podle společnosti Enel představovala 2,5 miliardy eur. Díky 99 % pokrytí tak došlo v zemi k dramatickému snížení peněžních nákladů na zákazníka a k výraznému zvýšení kvality služeb u odběratele (snížená spotřeba energie). Odhaduje se, že takto agresivní rozvoj přinesl úsporu nákladů distribučních společností, a to ve výši přibližně 700 milionů eur ročně, navíc se odhaduje že spotřebitelé elektrické energie mohli své účty snížit až o polovinu. Nicméně se i přes tak velké úspěchy italská vláda chystá během následujících let zavést na 40 milionů nových inteligentních měřičů tzv. druhé generace. [20]

#### **2.4.1.7 Švédsko**

V roce 2009 se Švédsko stalo první zemí EU, která dosáhla 100 % pokrytí všech domácností inteligentními měřidly (evidováno na 1 milion inteligentních měřičů). Nyní mají všichni zákazníci ze zákona nařizeno, aby využívali inteligentní měřicí technologii ve svých domovech. Došlo tak jako v předešlém případě Itálie k enormním úsporám energie, dále ke zvýšení kvality služeb a spokojenosti všech odběratelů, a především také k celkovému zvýšení bezpečnosti v celé síti. [20]

#### **2.4.1.8 Velká Británie**

Do konce roku 2020 plánuje britská vláda osadit všech 26 milionů domácností inteligentními měřidly. Plánovaná investice se pohybuje kolem hodnoty 8 miliard liber. [20]

#### **2.4.1.9 Francie**

V březnu 2010 distribuční společnost ERDF spustila ve dvou regionech pilotní projekt Smart Grids zahrnující na 300 tisíc domácností. Na základě výsledků se poté francouzská vláda v roce 2012 rozhodla provést instalaci cca 7 milionů inteligentních měřičů ve 35 miliónech francouzských domácnostech. [11]

#### **2.4.1.10 Spojené státy americké**

V roce 2009 podpořil prezident Barack Obama rozvoj Smart Grids stimulačním balíčkem ve výši 4,5 miliard amerických dolarů. Tyto náklady měly v té době stačit na zhruba 40 milionů inteligentních měřičů, nicméně v současné době je již evidováno na 90 milionů inteligentních měřičů, což představuje zhruba 40 až 50 % pokrytí všech domácností. [11] [19] [20]

### 3 Vliv na ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny, výpočty na vytvořených modelech

Spolehlivost a kvalita dodávek elektrické energie je jednou ze základních otázek současné elektroenergetiky. Její zajištění patří mezi hlavní cíle provozovatelů DS či PS. Dá se tvrdit, že elektrická energie se v současné době stala zbožím, které musí mít jasně definovanou svou kvalitu. Z tohoto pohledu lze kvalitu elektřiny obecně rozčlenit do tří základních oblastí:

- První oblastí je kvalita napětí, popisující soubor možných odchylek napěťových charakteristik od předepsaných hodnot. Jedná se o ryze technické aspekty elektrické energie, jako jsou např. odchylky napájecího napětí, napěťové poklesy, přepětí, flickr atd.
- Další důležitou oblastí, resp. druhou je **nepřetržitost (plynulost) dodávek elektřiny**, jenž je vyjádřena počtem a dobou trvání přerušení přenosu či distribuce elektřiny. Tato oblast je pro tuto práci nejzásadnější a přímo souvisí s provozem distribučních soustav a je charakterizována právě ukazateli nepřetržitosti.
- Třetí oblastí je komerční kvalita (nesouvisí přímo s fyzickým provozováním soustav).

V České republice je kvalita dodávek elektřiny a s ní souvisejících služeb stanovena Energetickým regulačním úřadem (ERÚ), a to vyhláškou č. 540/2005 Sb. [21]

#### 3.1 Vyhláška č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice

Tato vyhláška stanovuje zejména ve čtvrté části, §21 základní pravidla pro vedení záznamů o všech dlouhodobých přerušeních přenosu nebo distribuce elektřiny v jím provozované soustavě. A taktéž stanovuje jejich následné vyhodnocení.

##### 3.1.1 Postupy pro vykazování dodržování kvality dodávek a služeb

###### *§21 - Ukazatel nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny*

- (1) Provozovatel přenosové soustavy a provozovatel distribuční soustavy vede záznamy o všech dlouhodobých přerušeních přenosu nebo distribuce elektřiny v jím provozované soustavě.
- (2) Ukazateli nepřetržitosti distribuce elektřiny jsou
  - a) průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období,
  - b) průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období,
  - c) průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období.

##### 3.1.2 Příloha č. 5 – Výpočet ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektřiny

Událostí se pro účely výpočtů rozumí stav v přenosové nebo distribuční soustavě, který vedl k přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny dané kategorie na napěťové hladině. Ukazatelé se vypočítávají pouze z dlouhodobých přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny. Začátkem přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny pro výpočet ukazatelů je okamžik, kdy se provozovatel přenosové nebo distribuční soustavy dozvěděl o vzniku přerušení nebo kdy vznik přerušení mohl a měl zjistit. [22]



### 3.1.3 Vztahy pro výpočet ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektřiny

#### 3.1.3.1 Hladinové ukazatele

Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napět'ové hladině  $h$  v hodnoceném období

$$SAIFI_h = \frac{\sum_j n_{jh}}{N_{sh}} \quad (3.1)$$

- kde  $h$  je označení hodnocené napět'ové hladiny (nn, vn nebo vv),  
 $j$  je pořadové číslo události v hodnoceném období,  
 $n_{jh}$  je celkový počet zákazníků přímo napájených z napět'ové hladiny  $h$ , jímž bylo způsobeno přerušení distribuce elektřiny dané kategorie v důsledku  $j$ -té události,  
 $N_{sh}$  je celkový počet zákazníků přímo napájených z napět'ové hladiny  $h$  konci předchozího kalendářního roku.

Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napět'ové hladině  $h$  v hodnoceném období

$$SAIDI_h = \frac{\sum_j t_{sj}}{N_{sh}} \quad (3.2)$$

- kde  $t_{sj}$  je součet všech dob trvání přerušení distribuce elektřiny v důsledku  $j$ -té události u jednotlivých zákazníků přímo napájených z napět'ové hladiny  $h$ , jímž byla přerušena distribuce elektřiny, stanovený jako:

$$t_{sj} = \sum_i t_{ji} \cdot n_{jhi} \quad (3.3)$$

- kde  $i$  je pořadové číslo manipulačního kroku v rámci  $j$ -té události,  
 $t_{ji}$  je doba trvání  $i$ -tého manipulačního kroku v rámci  $j$ -té události,  
 $n_{jhi}$  je počet zákazníků přímo napájených z napět'ové hladiny  $h$ , jímž bylo způsobeno přerušení distribuce elektřiny dané kategorie v  $i$ -tém manipulačním kroku  $j$ -té události.

Průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napět'ové hladině  $h$  v hodnoceném období

$$CAIDI_h = \frac{SAIDI_h}{SAIFI_h} \quad (3.4)$$

### 3.1.3.2 *Systémové Ukazatele*

Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období

$$SAIFI_s = \frac{\sum_{h=(nn,vn,vvn)} \sum_j n_{jh}}{N_s} \quad (3.5)$$

kde  $N_s$  je celkový počet zákazníků v soustavě ke konci předchozího kalendářního roku.

Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období

$$SAIDI_s = \frac{\sum_{h=(nn,vn,vvn)} \sum_j t_{sj}}{N_s} \quad (3.6)$$

Průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období

$$CAIDI_s = \frac{SAIDI_s}{SAIFI_s} \quad (3.7)$$

### 3.1.4 **Vztahy pro klasické ukazatele spolehlivosti dodávky elektřiny**

Za využití spolehlivostních veličin a následujících výpočtů lze obecně dosáhnout spolehlivostních ukazatelů elektřiny:

$$\lambda_G = \frac{\sum_j n_j}{N_s} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot N_i}{N_s} [\text{výpadek} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (3.8)$$

$$\tau_{GV} = \frac{\sum_j (n_j \cdot t_j)}{N_s} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \tau_i \cdot N_i}{N_s} [\text{min} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (3.9)$$

$$\tau_G = \frac{\sum_j (n_j \cdot t_j)}{\sum_j n_j} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \tau_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot N_i} [\text{min} \cdot \text{výpadek}^{-1}] \quad (3.10)$$

[23]

kde  $N_i$  je počet připojených odběratelů v bodě „i“ síť,

$\lambda_i$  je intenzita výpadků dodávky elektřiny v bodu „i“ síť [ $\text{rok}^{-1}$ ],

$\tau_i$  je střední doba výpadku v bodě „i“ síť [min],

$N_s$  je celkový počet odběratelů.

Lze tedy konstatovat že:  $SAIFI = \lambda_G$  ;  $SAIDI = \tau_{GV}$  ;  $CAIDI = \tau_G$

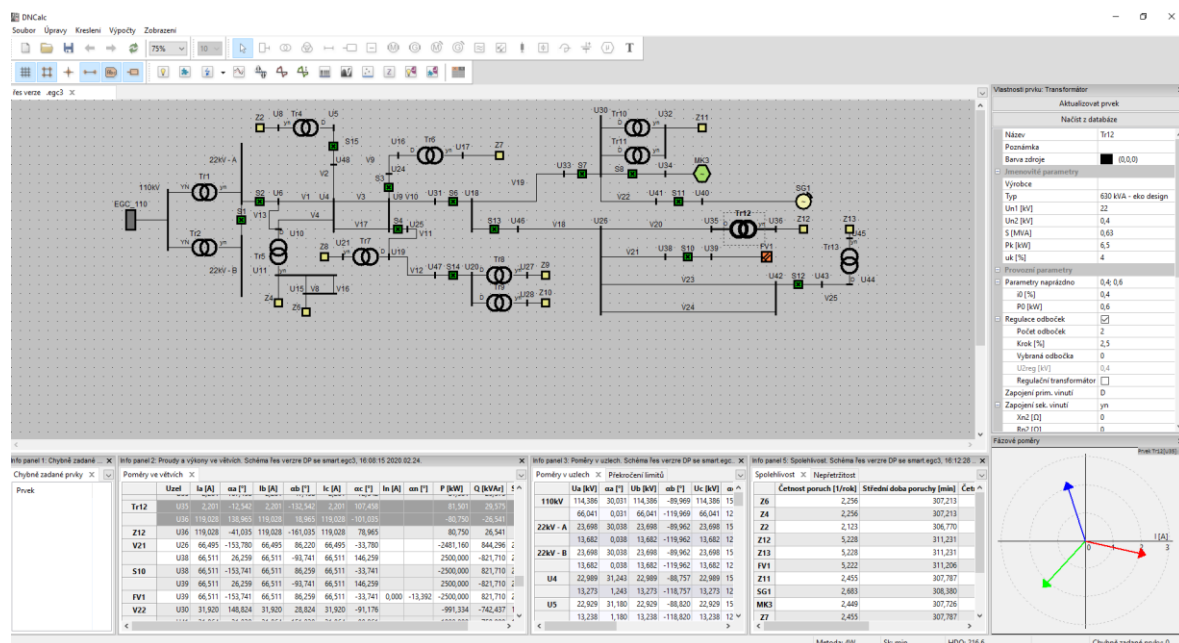
### 3.2 Software DNCalc

Všechny vytvořené modely a jejich následné výpočty budou uskutečněny v softwaru DNCalc od firmy EGC-EnerGoConsult České Budějovice s.r.o., který byl poskytnut naší Katedře elektroenergetiky. Tento výpočetní systém je navržen pro modelování a komplexní analýzu rozsáhlých elektrických libovolně zauzlených a paralelně provozovaných sítí od hladin nn, vn až po vvn. Převážně je však zaměřen na distribuční síť (vn, nn).

### 3.2.1 Popis programu

System DNCalc je určen především pro komplexní analýzu distribučních sítí, poskytuje robustní nástroje pro standardní výpočty distribučních sítí, ale i nástroje nadstavbové, jenž jsou určeny pro analýzu specifických oblastí provozu distribučních sítí, jakým jsou např. kvalita elektřiny, připojitelnost zdrojů do soustavy, prvky Smart Grids, spolehlivost atd. System DNCalc disponuje širokým spektrem prvků umožňujících uživateli věrohodný popis distribuční sítě a spolu sni i danou problematiku sítě. Za pomoci všech těchto zmíněných nástrojů je uživatel programu schopen analyzovat a spravovat provoz distribuční sítě s respektováním aktuálních trendů v elektroenergetice. Výpočetní metody aplikované v programu DNCalc vycházejí z předpisu Pravidel provozování distribučních soustav a z norem ČSN IEC 1000-2-2, ČSN EN 50160, ČSN EN 61000-3-2, ČSN EN 60909-1, PNE 33 3430.

DNCalc je nastupující generací úspěšného programu E-Vlivy v. 2. Zachovává si veškeré výpočetní rozsahy předchozí verze a nově umožňuje plnohodnotné trojfázové modelování a výpočty ES. Knihovna prvků byla nově rozšířena o prvky Smart Grids a vybrané OZE. V programu jsou implementovány výrazně rozšířené grafické nástroje správy sítě, nové výpočetní moduly, přepracované zadávání parametrů prvků, výpisy vypočtených hodnot se zpracovanými aktuálními požadavky na posuzování zpětných vlivů zařízení připojovaných k distribuční soustavě. [24]



Obr. 3.26 Ukázka uživatelského rozhraní v programu DNCalc

### 3.2.1.1 Modul Spolehlivost

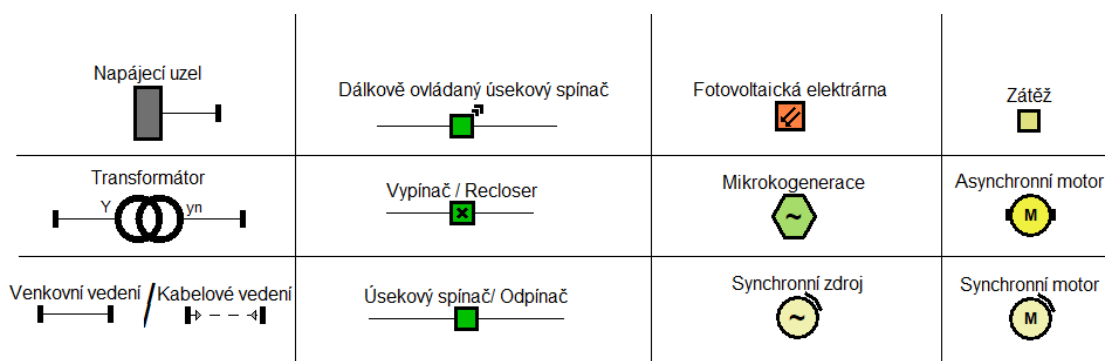
Program DNCalc se skládá ze základního modulu a případně volitelných nastavbových modulů, které se zaměřují na vybranou problematiku modelování a posuzování spolehlivostních a elektrických poměrů v distribučních soustavách. Nastavbový modul umožňuje nejenom standardní analýzu se zaměřením na četnost a střední dobu výpadků, dokáže také především vypočítat výpadky na odběratele, tzv. ukazatele nepřetržitosti (SAIDI, SAIFI). Výpočetní algoritmus transformuje elektrické schéma na spolehlivostní model. Transformace respektuje možnosti náhradního napájení, funkci ochran (vypnutí vypínače v případě zkratu), i časy potřebné pro manipulace na spínacích prvcích pro lokalizaci místa poruchy a obnovení dodávky náhradním zapojením. Výpočetní systém umožňuje modelovat základní kategorie přerušení (zkratové poruchy, zemní spojení, plánované přerušení). Program dokáže provést výpočet jak, u radiální topologie zapojení sítě, tak i u kruhového zapojení. [25]

Mezi obecné předpoklady, kterých program využívá patří:

- Krátkodobá přerušení trvající méně než 3 minuty nejsou do výpočtu spolehlivostního výpočtu standardně zahrnuta. Manipulační čas spínacích prvků má stejný časový limit, tedy pouze přerušení delší než 3 minuty.
- Transformátory (vvn/vn, vn/vn) jsou vždy vybaveny ochranami/pojistkami. Při vzniku zkratové poruchy se porucha nebude šířit na vyšší napěťovou hladinu. Jištění je dále automaticky předpokládáno i pro zařízení koncových odběratelů (FVE, motory, generátory atd.), resp. porucha u odběratele se nepřenesení do distribuční soustavy.
- V případě poruchy na spínacím prvku (recloser, vývodový vypínač) je uvažována selektivita jištění, tj. dojde k vybavení prvku, jenž je nejbližší místu zkratu.
- Možnost rozlišení poruchy na zkraty a zemní spojení je možno pouze u prvku „vedení“, ostatní prvky umožňují zadat pouze parametry zkratových poruch.

### 3.2.1.2 Stručný popis prvků a funkcí využitých v DNCalcu

Protože program DNCalc nabízí velký výběr jednotlivých prvků, jsou zde na následujícím obrázku 3.27 vyobrazeny prvky, které jsou v modelech sítí využívány nejčastěji. Program DNCalc umožňuje zadání parametrů prvků prostřednictvím okna „Vlastnosti prvku“. V tomto okně je zde možnost načítat některé typy prvků z databáze prvků. Tento výběr z databáze je umožněn pro prvky: Napájecí uzel, Transformátor a Vedení. Pro ostatní prvky je možné parametry zadat ručně, tedy pouze skrz nástroje. Po úpravě či zadání nových parametrů prvku je po kliknutí zpět na plátno či na jiný prvek provedena automatická aktualizace prvku na nové parametry.



Obr. 3.27 Legenda jednotlivých prvků

### Uzly sítě:

Všechny uzly sítě jsou součástí jednotlivých prvků. Nelze je do schématu přidat samostatně, uzly se automaticky přiřadí k daným prvkům (před a za). Číslování dílčích uzlů probíhá automaticky vzestupně. Ačkoliv uzly nejde do schématu přidávat samostatně, tak i přesto disponují určitými vlastnostmi. Uzly lze libovolně přejmenovat, změnit jejich pozici, změnit přiřazení jednotlivého vývodu do uzlu, či vepsat poznámku. Za pomoci pravého tlačítka (kontextového menu) lze ještě navíc provést „Změnu číslování nových uzlů“ to znamená, že lze nastavit libovolné požadované číslo, od kterého se budou následující uzly číslovat. Jako další lze zvolit možnost „Změnit uzel na rozpojovací pojistkovou skříň“, tím dojde ke změně uzlu na pojistkovou skříň, která se využívá v nn sítích, u každého vývodu lze zvolit velikost jištění (od 125 A až po 400 A).

### Napájecí uzel:

Je to specifický prvek, jenž představuje napájecí síť jako např. soubor vedení, elektráren atd. Při začátku tvorby schématu se právě využívá napájecího uzlu. Tento prvek před výpočtem vyžaduje zadání povinných parametrů. Mezi nejzákladnější patří jmenovité napětí, provozované napětí, zkratový proud a zkratový výkon. Pro ulehčení je ve vlastnostech prvku možnost výběru sítě z databáze. Přiřazenému napětí pak odpovídá zkratový výkon (pro 110 kV odpovídá 1200 MVA atd.), kde po následném výběru se spolu s ním vyplní i další parametry (zkratový proud, úhly atd.) viz obrázek 3.28. Tabulka parametrů umožňuje zadat maximální a minimální zkratové poměry pro funkci výpočtu zkratů.

Obr. 3.28 Tabulka vlastností napájecího uzlu

### Transformátor:

Další důležitý prvek, bez kterého bychom se v elektroenergetice neobešli je transformátor. Transformátor využíváme k přeměně střídavého napětí (z vyšší hladiny napětí na nižší a naopak). Aby bylo možné provést výpočet sítě, je nutno i zde zadat povinné parametry do tabulky vlastnosti prvku. Mezi hlavní parametry patří jmenovité primární napětí, jmenovité sekundární napětí, jmenovitý výkon, ztráty nakrátko, napětí nakrátko. Pro zjednodušení je zde opět možnost výběru z databáze, kde se nabízí velký počet transformátorů různých typů a výkonů. Při vkládání prvku se určí, zda se jedná o klasický dvojvinutový transformátor, či trojvinutový. Mezi další důležité funkce patří regulace odboček.

V tabulce vlastností prvku, lze určit kolik bude mít transformátor odboček. Pomocí vybrané odbočky je pak tedy možnost regulace napětí v síti na požadované hodnoty (např. krok od – 8 do 8 odbočky). Chceme-li provést výpočet spolehlivosti musíme ještě do tabulky spolehlivosti vložit spolehlivostní parametry daného prvku viz obrázek 3.29.

The image shows two side-by-side windows from a software application, both titled 'Vlastnosti prvku: Transformátor'. The left window displays a 'Načíst z databáze' (Load from database) section with a tree view of parameters. The right window displays a 'Načíst z databáze' section with a table of reliability parameters.

Vlastnosti prvku: Transformátor	
Načíst z databáze	
Jmenovité parametry	
Výrobce	Škoda
Typ	5 ER 31 M
Un1 [kV]	110
Un2 [kV]	23
S [MVA]	25
Pk [kW]	161,8
uk [%]	11,2
Provozní parametry	
Parametry naprázdno	0,93; 33,3
i0 [%]	0,93
P0 [kW]	33,3
Regulace odboček	<input checked="" type="checkbox"/>
Počet odboček	8
Krok [%]	2
Vybraná odbočka	3
U2reg [kV]	21,62
Regulační transformátor	<input type="checkbox"/>

Vlastnosti prvku: Transformátor	
Načíst z databáze	
Název	Transformátor
Poznámka	
Barva zdroje	(0,0,0)
Jmenovité parametry	
Provozní parametry	
Spolehlivost	
Četnost poruch [1/rok]	0,054
Doba opravy [min]	16,98
Údržba s omezením dist.	
Údržba bez omezení dist.	
Finanční analýza	
CAPEX [Kč]	0
OPEX [Kč]	0
Roční změna OPEX [%]	0

Obr. 3.29 Tabulka vlastností transformátoru, parametry (vlevo), spolehlivost (vpravo)

### Vedení:

Elektrické vedení zajišťuje přenos elektrické energie od výrobců až k odběratelům. Aby byl umožněn výpočet celé sítě, je i jako v předešlých případech nutno vložit povinné parametry, a to skrz tabulku vlastností. I zde je možnost výběru z databáze. Vedení je zde přehledně rozděleno na jednotlivé hladiny vvn, vn či nn. Samozřejmě je upřednostněna ta hladina napětí, na které je síť modelována (v tomto případě 22 kV). Po zvolení daného typu vedení (např. AlFe6) se do tabulky vlastností vloží automaticky všechny potřebné parametry (reaktance, odpor vedení), s výjimkou délky vedení, které je potřeba pokaždé zvolit ručně. Podle výběru se pak vedení ve schématu automaticky zaznačí, plná čára představuje venkovní vedení, kdežto přerušovaná čára značí kabelové vedení. Pro výpočet spolehlivosti je i zde nutno zadat spolehlivostní parametry vedení viz obrázek 3.30.

The image shows two side-by-side windows from a software application, both titled 'Vlastnosti prvku: Vedení'. The left window displays a 'Načíst z databáze' (Load from database) section with a tree view of parameters. The right window displays a 'Načíst z databáze' section with a table of reliability parameters.

Vlastnosti prvku: Vedení	
Načíst z databáze	
Jmenovité parametry	
Druh	Venkovní
Typ	120AlFe6
Průřez [mm²]	120
Un [kV]	22
R [Ω/km]	0,225
Zadat L	<input type="checkbox"/>
X [Ω/km]	0,363
L [mH/km]	0
Zadat C	<input type="checkbox"/>
B [μS/km]	1,469
C [μF/km]	0
Délka [km]	5
I <sub>max</sub> [A]	357
I <sub>maxN</sub> [A]	0
R0/R1 [-]	3
X0/X1 [-]	3
Připojeno na fáze	<input type="checkbox"/>

Vlastnosti prvku: Vedení	
Načíst z databáze	
Název	Vedení
Poznámka	
Jmenovité parametry	
Spolehlivost	
Zkratové poruchy	
Četnost [1/rok/100km]	2,218
Doba opravy [min]	314,28
Zemní poruchy	
Zkratové poruchy v lesním úseku	
Zemní poruchy v lesním úseku	
Délka lesního úseku [km]	0
Údržba s omezením dist.	
Údržba bez omezení dist.	
Finanční analýza	
CAPEX [Kč]	0
OPEX [Kč]	0
Roční změna OPEX [%]	0

Obr. 3.30 Tabulka vlastností vedení, parametry (vlevo), spolehlivost (vpravo)

### Spínač:

Mezi klíčové prvky jednotlivých schémat patří prvek „Spínač“, který slouží k přerušení/spojení dvou částí modelované sítě. Zapnutý a vypnutý stav lze ve schématu měnit dvojitým kliknutím na spínací prvek. Červená barva znázorňuje rozepnutý (vypnutý) spínač, zelená barva zase stav sepnutý (zapnutý). Pro výpočty spolehlivosti je nutno i zde zadat spolehlivostní parametry prvku, jako další se zde navíc volí i manipulační čas daného spínače a je nutno zvolit typ spínacího prvku. Lze vybrat ze tří základních typů (jednotlivé typy hrají velkou roli ve výpočtech spolehlivosti):

- obecný (úsekový spínač/odpínač),
- dálkově ovládaný,
- vypínač / recloser.



Obr. 3.31 Schématické znázornění ZAP/VYP prvku spínač

Vlastnosti prvku: spínač	
Aktualizovat prvek	
Název	Spínač
Poznámka	
Jmenovité parametry	
Typ	Obecný
Spolehlivost	
Četnost poruch [1/rok]	0,011
Doba opravy [min]	2036,58
Údržba s omezením dist.	
Údržba bez omezení dist.	
Manipulační čas [min]	60
Finanční analýza	
CAPEX [Kč]	0
OPEX [Kč]	0
Roční změna OPEX [%]	0

Obr. 3.32 Tabulka spolehlivostních parametrů spínače

### Zátěž:

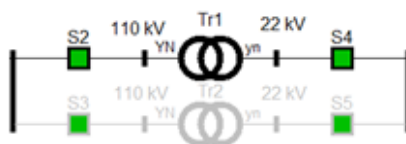
Zátěž představuje odběr na konci každé sítě. V našem případě budou při modelování využity pouze vlastnosti obecné zátěže (nebudeme uvažovat nesymetrickou atd.). I zde je potřeba pro výpočet sítě zadat povinné parametry do tabulky vlastností prvku. Patří sem jmenovité napětí, jmenovitý zdánlivý výkon, účinník, provozní zdánlivý výkon a účinník. Je zde však i možnost zadat pouze činný či jalový výkon. Pro výpočet spolehlivosti se musí zadat spolehlivostní parametry i do zátěže. Dále pro výpočet globálních ukazatelů spolehlivosti je ještě nutno zadat daný počet zákazníků viz obrázek 3.33.

Vlastnosti prvku: Zátěž		Vlastnosti prvku: Zátěž	
Aktualizovat prvek		Aktualizovat prvek	
Název	Zátěž	Název	Zátěž
Poznámka		Poznámka	
Jmenovité parametry		Jmenovité parametry	
Druh	Obecná	Sn [kVA]	250
Typ	U, S, cos φ	cos φ <sub>n</sub>	1
Un [kV]	22	Provozní parametry	
Sn [kVA]	250	Režim: Odběr P, Odběr Q	
cos φ <sub>n</sub>	1	Spolehlivost	
Provozní parametry		Četnost poruch [1/rok]	0,006
S [kVA]	200	Doba opravy [min]	332,88
cos φ	0,95	Údržba s omezením dist.	
Připojeno na fáze		Údržba bez omezení dist.	
AB	<input checked="" type="checkbox"/>	Počet zákazníků [-]	50
BC	<input checked="" type="checkbox"/>	Koeficient soudobosti [-]	0
CA	<input checked="" type="checkbox"/>	Cena nedodané energie [Kč/kWh]	0
Zapojení	D	Cena za přerušení [Kč/přerušení]	0
Konstantní impedance	<input type="checkbox"/>	Finanční analýza	

Obr. 3.33 Tabulka vlastností zátěže, parametry (vlevo), spolehlivost (vpravo)

#### Funkce „Pasivování“:

Funkce „Pasivovat“ umožňuje vyjmout prvek z výpočtu, bez toho, aby bylo nutné jej ze schématu smazat. Prvek, který je pasivovaný je zobrazen nevýraznými barvami a nevstupuje do výpočtu sítě. Konkrétně pasivujeme prvek tak, že klikneme na daný prvek a následným pravým kliknutím zvolíme možnost „Pasivovat“. Lze tak tedy i do jisté míry simulovat např. poruchu na daném prvku. Pokud je vybráno více prvků naráz, lze je pasivovat/aktivovat hromadně. Využití pasivování lze vidět na následujícím ukázkovém příkladu.



Obr. 3.34 Příklad pasivovaného prvku

### 3.3 Porovnání výsledků ze spolehlivostních schémat a programu DNCalc

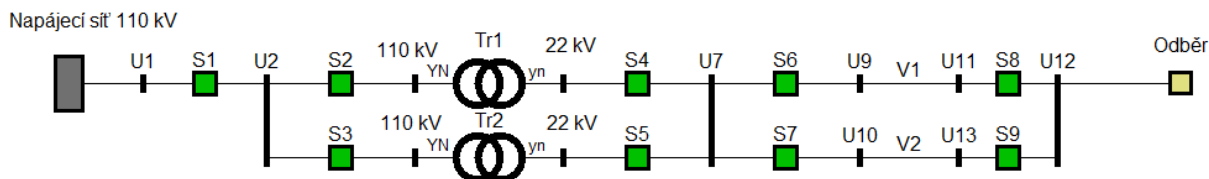
Na následujícím příkladu bude demonstrován výpočet, jenž vypočítal program DNCalc a výsledky budou srovnány s výpočty spolehlivosti podle směrnice ČEZ 22/80. Směrnice ČEZ 22/80 vychází z metody spolehlivostních schémat a spolehlivostních parametrů jednotlivých prvků, přičemž se uvažují údržbové prostoje a do výpočtu je možné zahrnout i manipulace. Základem této výpočtové metody spolehlivosti je řešení dílčích spolehlivostních zapojení dvou prvků. Rozlišujeme tři základní zapojení: sériové, paralelní (horká rezerva), paralelní s manipulací (studená rezerva).

#### Příklad:

Z trafostanice 110/22 kV je venkovním vedením délky 20 km napájen určený odběr. Vypočítejme spolehlivost napájení tohoto odběru:

1. Při napájení jedním vedením.
2. Při napájení dvěma paralelními vedeními.
3. Při napájení dvěma paralelními vedeními, kde jedno slouží jako studená rezerva s manipulačním časem  $\tau_M = 0,5$  h.
4. Při napájení dvěma paralelními vedeními, kde jedno slouží jako studená rezerva (je využito paralelního chodu dvou transformátorů).

Při výpočtu neuvažujeme s údržbovými prostoji.



Obr. 3.35 Schéma zapojení sítě

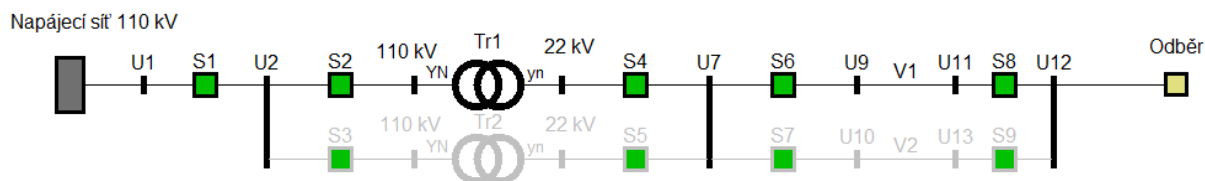


Tab. 3.4 Spolehlivostní parametry zařízení

Prvek	$U$	$\lambda_P$	$\tau_P$
	[kV]	[rok <sup>-1</sup> ]	[h]
Transformátor vvn/vn	110/22	0,054	0,283
Transformátor vn/nn	22/0,4	0,006	5,548
Venkovní vedení	22	2,218/100 km	5,238
Kabelové vedení	22	4,19/100 km	10,025
Vypínač výkonový	110	0,022	31,147
Vypínač výkonový	22	0,011	33,943
Spínač	22	0,007	21,493

1) **Varianta:**

Pozn. Spodní větve jsou pro tuto variantu pasivovány, nejsou ve výpočtu zahrnuty.



Obr. 3.36 Schéma zapojení pro první variantu

Intenzita poruch vedení:

$$\lambda_V = \lambda_{Vkm} \cdot l_v = \frac{2,218}{100} \cdot 20 = \underline{0,4436 \text{ rok}^{-1}} \quad (3.11)$$

Intenzita poruch:

$$\lambda = \lambda_{Tr1} + \lambda_{V1} = 0,054 + 0,4436 = \underline{0,4976 \text{ rok}^{-1}} \quad (3.12)$$

Střední doba poruchy:

$$\tau = \frac{\lambda_{Tr1} \cdot \tau_{Tr1} + \lambda_{V1} \cdot \tau_{V1}}{\lambda_{Tr1} + \lambda_{V1}} = \frac{(0,054 \cdot 0,283) + (0,4436 \cdot 5,238)}{0,054 + 0,4436} = \underline{4,7 \text{ h}} \quad (3.13)$$

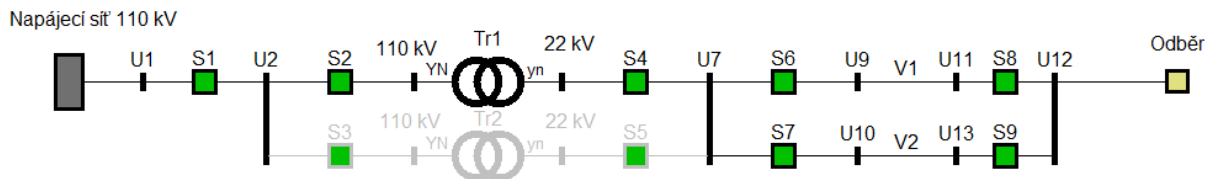
Porovnání výsledků:

Tab. 3.5 Srovnání výsledků pro první variantu

	Četnost poruch [1/rok]	Střední doba poruchy [h]
Výpočet v DNCalcu	0,498	4,7
Ruční výpočet	0,4976	4,7

## 2) Varianta:

*Pozn. Transformátor 2 je ve schématu pasivován, není tedy ve výpočtu zahrnut.*



Obr. 3.37 Schéma zapojení pro druhou variantu

Intenzita poruch paralelních vedení:

$$\lambda_V = \frac{\lambda_{V1} \cdot \lambda_{V2} \cdot (\tau_{V1} + \tau_{V2})}{8760} = \frac{0,4436 \cdot 0,4436 \cdot (5,238 + 5,238)}{8760} \quad (3.14)$$

$$= \underline{2,353 \cdot 10^{-4} \text{rok}^{-1}}$$

Střední doba poruchy paralelních vedení:

$$\tau_1 = \frac{\tau_{V1} \cdot \tau_{V2}}{\tau_{V1} + \tau_{V2}} = \frac{(5,238) \cdot (5,238)}{(5,238) + (5,238)} = \underline{2,619 \text{ h}} \quad (3.15)$$

Výsledná intenzita poruch:

$$\lambda = \lambda_{Tr1} + \lambda_V = 0,054 + 2,353 \cdot 10^{-4} = \underline{0,0542353 \text{ rok}^{-1}} \quad (3.16)$$

Výsledná střední doba poruchy:

$$\tau = \frac{\lambda_{Tr1} \cdot \tau_{Tr1} + \lambda_V \cdot \tau_V}{\lambda_{Tr1} + \lambda_V} = \frac{(0,054 \cdot 0,283) + (2,353 \cdot 10^{-4} \cdot 2,619)}{0,054 + 2,353 \cdot 10^{-4}} \quad (3.17)$$

$$= \underline{0,29313 \text{ h}}$$

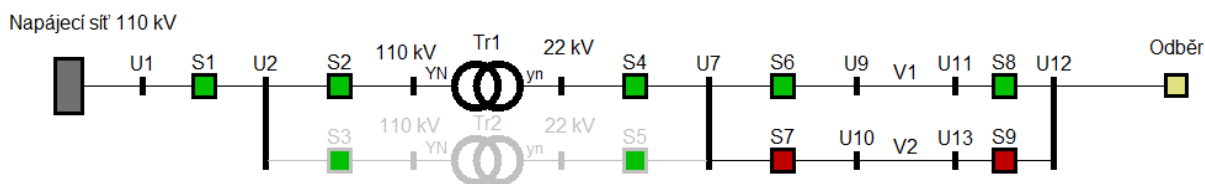
Porovnání výsledků:

Tab. 3.6 Srovnání výsledků pro druhou variantu

	Četnost poruch [1/rok]	Střední doba poruchy [h]
Výpočet v DNCalcu	0,054	0,283
Ruční výpočet	0,0542	0,2931

### 3) Varianta:

Pozn. Transformátor 2 je ve schématu pasivován, není tedy ve výpočtu zahrnut, na vypínačích vedení  $v_2$  je nastaven manipulační čas.



Obr. 3.38 Schéma zapojení pro třetí variantu

Intenzita poruch manipulace:

$$\lambda_M = \lambda_{V1} = 0,4436 = \underline{0,4436 \text{ rok}^{-1}} \quad (3.18)$$

Výsledná intenzita poruch:

$$\lambda = \lambda_{Tr1} + \lambda_M + \lambda_V = 0,054 + 0,4436 + 2,353 \cdot 10^{-4} = \underline{0,4978 \text{ rok}^{-1}} \quad (3.19)$$

Výsledná střední doba poruchy:

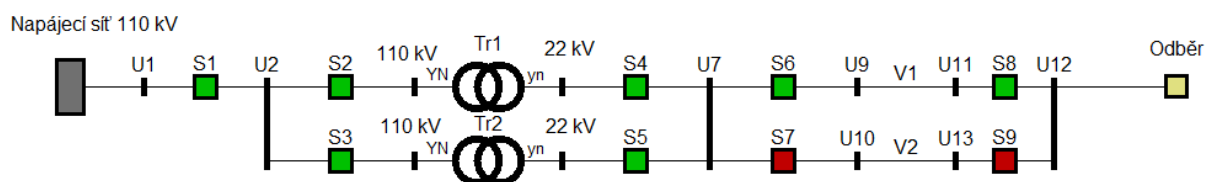
$$\begin{aligned} \tau &= \frac{\lambda_{Tr1} \cdot \tau_{Tr1} + \lambda_M \cdot \tau_M + \lambda_V \cdot \tau_V}{\lambda_{Tr1} + \lambda_M + \lambda_V} \\ &= \frac{(0,054 \cdot 0,283) + (0,4436 \cdot 0,5) + (2,353 \cdot 10^{-4} \cdot 2,619)}{0,054 + 0,4436 + 2,353 \cdot 10^{-4}} = \underline{0,4775 \text{ h}} \end{aligned} \quad (3.20)$$

Porovnání výsledků:

Tab. 3.7 Srovnání výsledků pro třetí variantu

	Četnost poruch [1/rok]	Střední doba poruchy [h]
Výpočet v DNCalcu	0,498	0,4765
Ruční výpočet	0,4798	0,4775

### 4) Varianta:



Obr. 3.39 Schéma zapojení pro čtvrtou variantu

Intenzita poruch paralelních transformátorů:

$$\lambda_T = \frac{\lambda_{T1} \cdot \lambda_{T2} \cdot (\tau_{T1} + \tau_{T2})}{8760} = \frac{0,054 \cdot 0,054 \cdot (0,283 + 0,283)}{8760} \quad (3.21)$$

$$= \underline{1,884 \cdot 10^{-7} \text{rok}^{-1}}$$

Střední doba poruchy paralelních transformátorů:

$$\tau_r = \frac{\tau_{r1} \cdot \tau_{r2}}{\tau_{r1} + \tau_{r2}} = \frac{(0,283) \cdot (0,283)}{(0,283) + (0,283)} = \underline{0,1415 \text{ h}} \quad (3.22)$$

Výsledná intenzita poruch:

$$\lambda = \lambda_{Tr} + \lambda_M + \lambda_V = 1,884 \cdot 10^{-7} + 0,4436 + 2,353 \cdot 10^{-4} \quad (3.23)$$

$$= \underline{0,4438 \text{ rok}^{-1}}$$

Výsledná střední doba poruchy:

$$\tau = \frac{\lambda_{Tr} \cdot \tau_{Tr1} + \lambda_M \cdot \tau_M + \lambda_V \cdot \tau_V}{\lambda_{Tr1} + \lambda_M + \lambda_V} \quad (3.24)$$

$$= \frac{(1,884 \cdot 10^{-7} \cdot 0,1415) + (0,4436 \cdot 0,5) + (2,353 \cdot 10^{-4} \cdot 2,619)}{1,884 \cdot 10^{-7} + 0,4436 + 2,353 \cdot 10^{-4}}$$

$$= \underline{0,5011 \text{ h}}$$

Porovnání výsledků:

*Tab. 3.8 Srovnání výsledků pro čtvrtou variantu*

	Četnost poruch [1/rok]	Střední doba poruchy [h]
Výpočet v DNCalcu	0,444	0,5
Ruční výpočet	0,4438	0,5011

### 3.3.1 Vyhodnocení srovnání

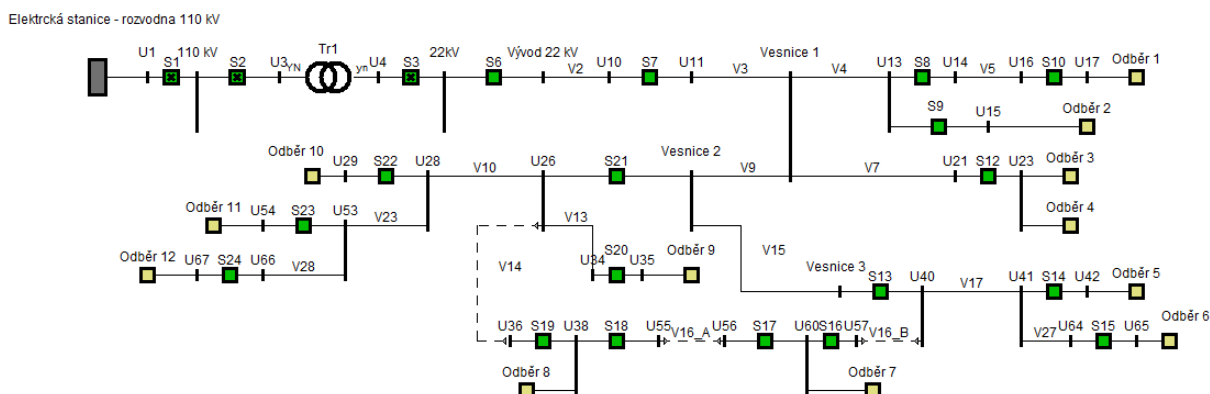
Z vypočtených a následně srovnaných výsledků dle spolehlivostních schémat a programu DNCalc lze tedy konstatovat, že výsledky vztahující se k intenzitě poruch jsou téměř shodné. Nejistota vzniká patřičně zaokrouhlováním tisícinných míst v programu DNCalc. Střední doba poruchy je také shodná, liší se opět řádem setin. Pro upřesnění, jsou zde vypočteny pouze hlavní parametry spolehlivosti četnost poruch a střední doba poruchy, ze kterých se následně ukazatel nepřetržitosti vypočtou (viz následující modely a výsledky).

### 3.4 Vytvořené modely

Na následujících vytvořených modelech bude znázorněn vliv a využití prvků Smart Grids na distribuční síť, protože je však poskytnutá verze programu DNCalc omezena pouze na 100 prvků pro jedno schéma, budou zde provedeny určité zjednodušující předpoklady. V programu bude vytvořeno na dvě desítky jednotlivých modelů. Tyto sítě budou každá zvlášť samostatné a s maximálním využitím prvků ve schématu. Spolehlivostní parametry jednotlivých prvků budou čerpány z Tabulky 3.4. Jednotlivé sítě se budou lišit jak počtem zákazníků, rozměry, výkony, tak i například provedením. Pro upřesnění bude u každého modelu sítě napsán stručný popis sítě. Základní princip spočívá v tom, že na prvním obrázku je klasický model sítě, bez prvků Smart Grids, jsou zde tedy obsaženy v základu pouze obecné úsekové spínače a odpínače, s dlouhým manipulačním časem tj. řádově desítky minut. V programu proto provedeme výpočet pro tento stav (výsledky pro klasickou síť). Tato práce však především pojednává o uplatnění Smart Grids prvků na síť, původní prvky v síti je tak třeba nahradit, tím dojde k odstávce. Abychom byli schopni vyčíslit tuto odstávku v podobě montáže, popř. rekonstrukce, zvolíme na předřadných odpínačích dlouhý manipulační čas, a to konkrétně v řádu několika hodin. Pro tento stav se následně provede druhý výpočet (výsledky pro síť před inovací). Na druhém obrázku jsou poté původní spínací prvky již nahrazeny za výkonové vypínače/reclosery s krátkým manipulačním časem tj. jednotky minut. A nově také do důležitých nechráněných tras vedení jsou tyto prvky uloženy taktéž. Pro druhý obrázek tedy bude uskutečněn výpočet pouze jednoho stavu, tedy po inovaci prvků. Celkově se tak pro každou síť provedou výpočty pro tři různé stavy, resp. tři hodnocená období.

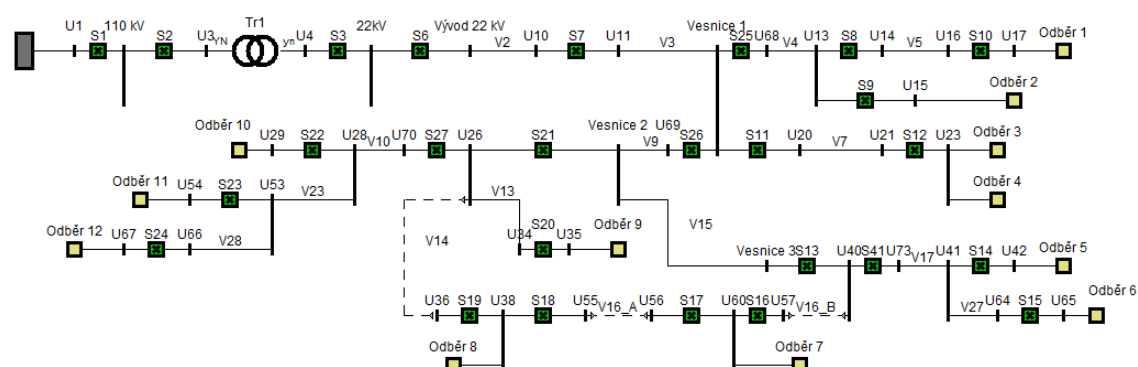
#### Model Sítě 1

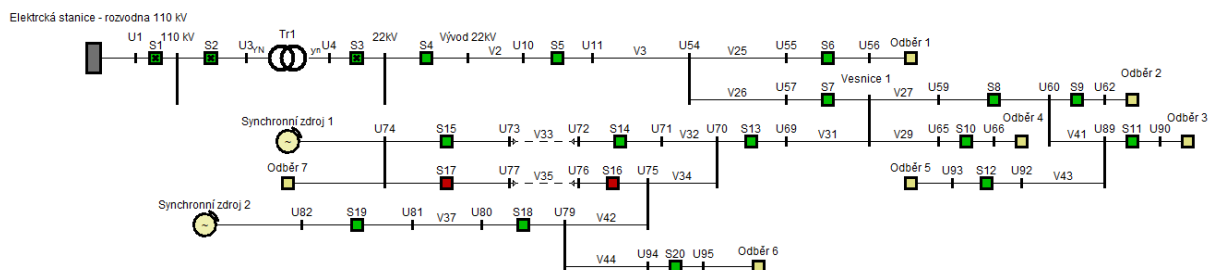
Síť je provedena paprskově a je napájena jedním hlavním vedením z elektrické stanice 110 kV. V oblasti se nachází celkem tři odlišné vesnice. Hlavní napájecí větev vedení ústí do Vesnice 1, která má přibližně 250 zákazníků. Síť se poté rozvětzuje skrz vedení V<sub>9</sub> na Vesnici 2 (300 zákazníků) a Vesnici 3 (2000 zákazníků), tyto vesnice jsou pro vyšší spolehlivost propojeny skrz kabelové vedení. Všechna využitá venkovní vedení v síti jsou typu 120 AlFe 6 a jejich celková délka je dohromady přes 20 km. Kabelové vedení, které propojuje vesnice, je typu 95 ANKO s délkou kolem 6 km.



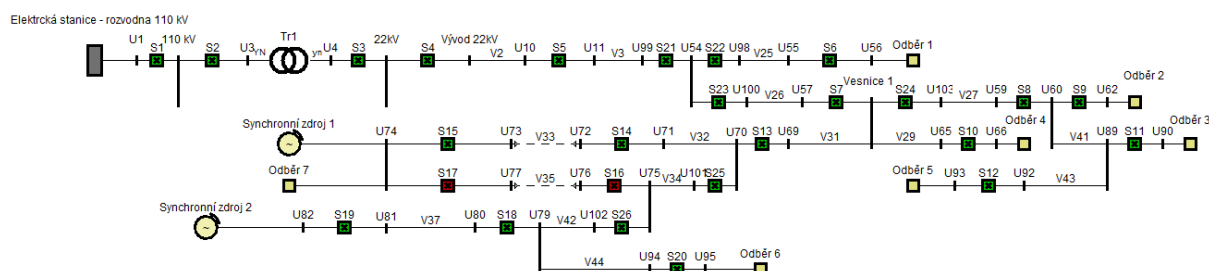
Obr. 3.40 Model Sítě 1

Elektrická stanice - rozvodna 110 kV





Obr. 3.42 Model Sítě 2



Obr. 3.43 Model Sítě 2 s využitím prvků SG

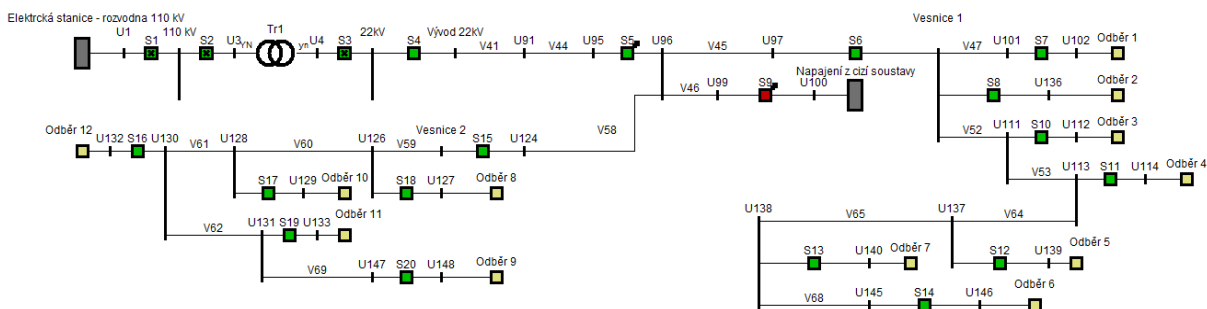
## Výsledky Sítě 2:

Tab. 3.10 Výsledková tabulka Sítě 2

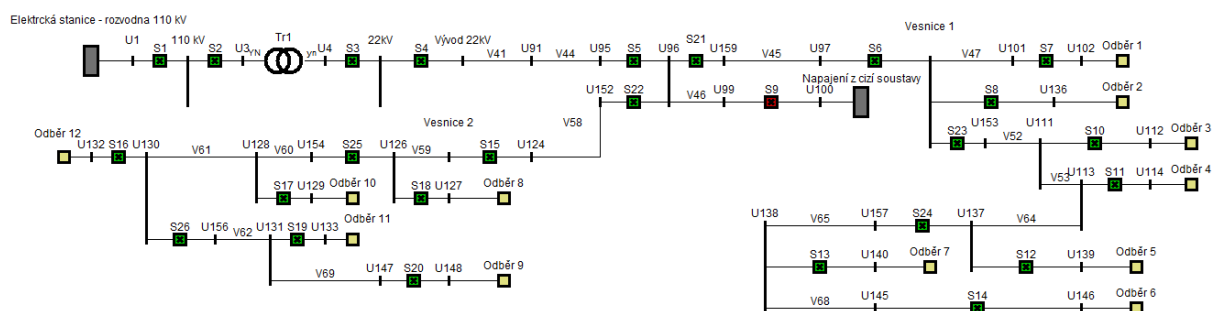
	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,062	11,82	0,062	18,376	0,035	9,697
Odběr 2	0,135	32,777	0,135	40,608	0,105	29,868
Odběr 3	0,104	25,213	0,104	31,237	0,081	22,975
Odběr 4	0,117	25,502	0,117	32,279	0,078	21,72
Odběr 5	0,078	18,91	0,078	23,427	0,061	17,231
Odběr 6	0,182	46,052	0,182	46,052	0,146	41,674
Odběr 7	0,013	3,289	0,013	3,289	0,009	2,483
Suma	0,691	163,564	0,691	195,268	0,515	145,648

## Model Sítě 3

Model Sítě 3, tvoří poměrně rozlehlejší oblast. Napájení je zajištěno z elektrické stanice 110 kV, na rozdíl od ostatních sítí, je však zajištěno náhradní napájení 22 kV z cizí soustavy, která je od stávající sítě oddělena dálkovým úsekovým odpínačem S<sub>9</sub>. Síť napájí celkově dvě vesnice, ty jsou od sebe vzdáleny na desítky km, skrz vedení V<sub>58</sub>. Vesnice 1 má přes 400 zákazníků a ve Vesnici 2 využívá elektrinu celkově 850 zákazníků. Venkovní vedení je v síti zastoupeno typem 120 AlFe 6 a 100/25 AlFe 6, jejichž délka je dohromady přes 50 km.



Obr. 3.44 Model Sítě 3



Obr. 3.45 Model Sítě 3 s využitím prvků SG

### Výsledky Sítě 3:

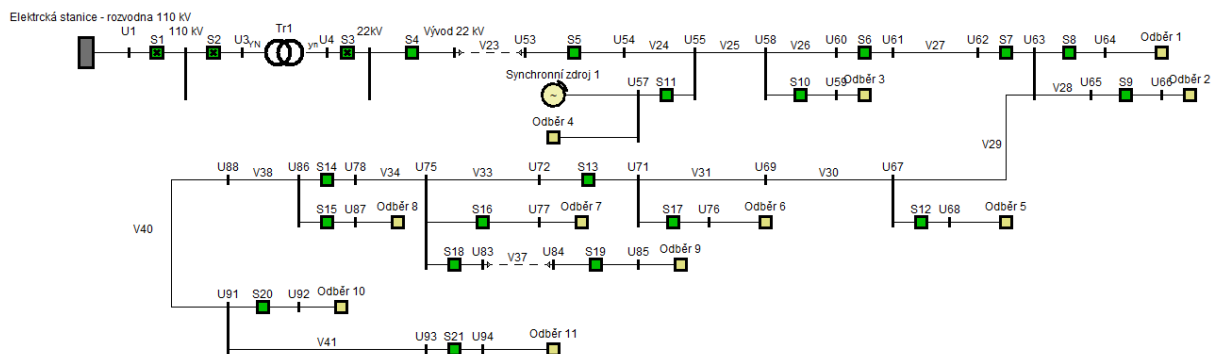
Tab. 3.11 Výsledková tabulka Sítě 3

	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,051	12,347	0,051	14,52	0,031	6,989
Odběr 2	0,051	12,347	0,051	14,52	0,031	6,989
Odběr 3	0,051	12,347	0,051	14,52	0,033	7,819
Odběr 4	0,026	6,173	0,026	7,26	0,017	3,909
Odběr 5	0,102	24,693	0,102	29,041	0,067	15,638
Odběr 6	0,043	10,289	0,043	12,1	0,03	7,041
Odběr 7	0,026	6,173	0,026	7,26	0,018	4,225
Odběr 8	0,213	50,325	0,213	61,231	0,14	32,578
Odběr 9	0,085	20,13	0,085	24,492	0,063	15,189
Odběr 10	0,085	20,13	0,085	24,492	0,06	14,248
Odběr 11	0,213	50,325	0,213	61,231	0,157	37,972
Odběr 12	0,128	30,195	0,128	36,738	0,09	21,373
Suma	1,076	255,475	1,076	307,406	0,734	173,97

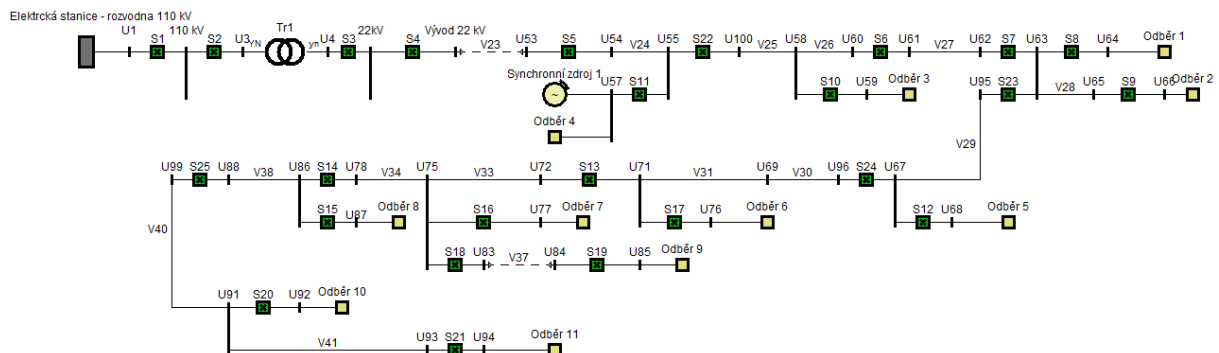


## Model Sítě 4

Model Sítě 4, je tvořen rozsáhlou zalesněnou oblastí, zejména horskou. Je tedy předpokládáno, že většina odběrů není přímo pod názvem nějaké jedné konkrétní vesnice, ale že se jedná např. o rekreační oblasti, lyžařská střediska či chatové oblasti. Z toho tedy vyplývají poměrně velké výkony pro jednotlivé odběry (vyjma chat). Soustava je opět paprskového provedení, síť je napájena pouze jedním hlavním vedením V<sub>24</sub>. V síti se vyskytuje i synchronní zdroj v podobě větrných elektráren o provozním výkonu 1500 kW. Celkový počet odběratelů elektřiny ve sledované síti je 2000. Většina venkovního vedení je typu 120 AlFe 6, o délce 30 km. Pro vývod z napájecí stanice slouží kabel typu 150 AXEKCY, jenž má délku 2 km. V síti se nachází ještě jedno kabelové vedení, a to 95ANKO s délkou 1 km, které propojuje Odběr 9.



Obr. 3.46 Model Sítě 4



Obr. 3.47 Model Sítě 4 s využitím prvků SG

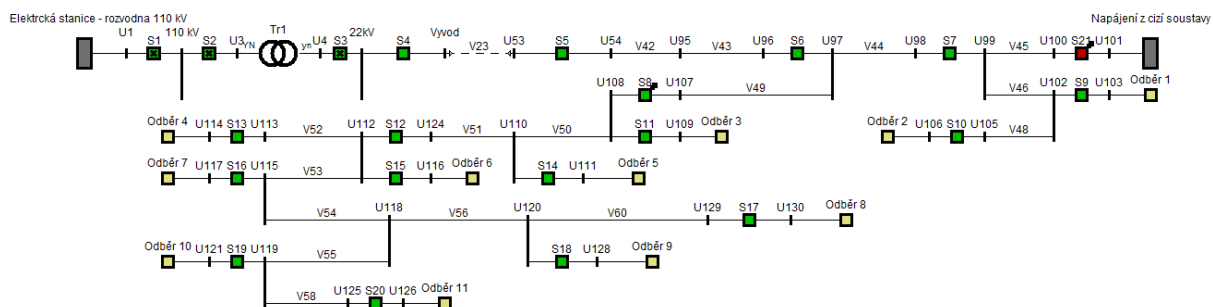
#### Výsledky Sítě 4:

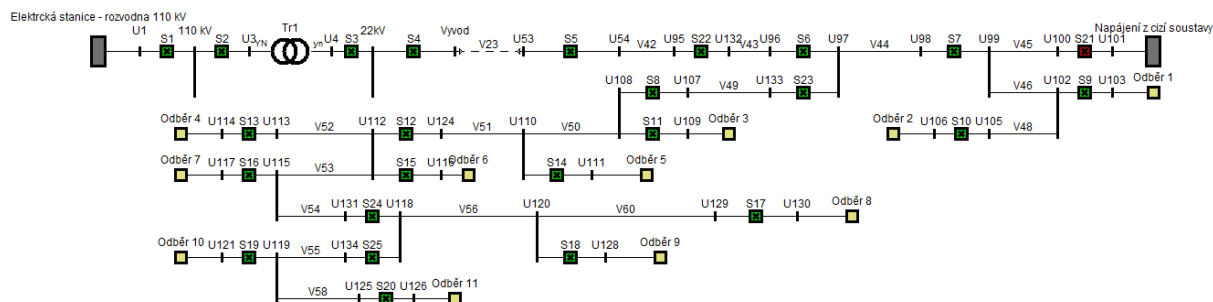
Tab. 3.12 Výsledková tabulka Sítě 4

	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,006	1,556	0,006	2,122	0,003	1,038
Odběr 2	0,009	2,335	0,009	3,183	0,005	1,557
Odběr 3	0,012	2,253	0,012	4,804	0,005	1,811
Odběr 4	0,023	4,507	0,023	9,608	0,008	2,927
Odběr 5	0,044	11,673	0,044	15,914	0,026	8,655
Odběr 6	0,116	31,127	0,116	42,437	0,086	28,287
Odběr 7	0,116	32,592	0,116	41,482	0,091	30,022
Odběr 8	0,096	30,111	0,096	32,122	0,078	25,723
Odběr 9	0,096	29,481	0,096	34,805	0,08	27,529
Odběr 10	0,096	30,111	0,096	32,122	0,087	28,586
Odběr 11	0,058	18,249	0,058	19,468	0,079	25,988
Suma	0,672	193,995	0,672	238,066	0,549	182,124

#### Model Sítě 5:

Model Sítě 5, je situačně rozprostřen v rozlehlé zalesněné a horské oblasti. Jako v předešlém případě je zde většina odběrů od sebe oddělena skrz velké vzdálenosti. Soustava je paprskového provedení. Nejdůležitější vedení V<sub>42</sub> je dlouhé přes 20 km a na konci spínače S<sub>6</sub> dochází k následnému větvení na další úseky. Kvůli většímu počtu odběratelů (2200) a odběrů elektřiny, je navíc tato oblast jištěna proti dlouhodobým výpadkům skrz dálkově ovládaný úsekový odpínač S<sub>2</sub>. Napájení sítě zajišťuje kabelové vedení typu 150 AXEKCYS s délkou 3 km. Zbytek větví je tvořen venkovním vedením, hlavní větve jsou tvořeny typem 120 AlFe 6, kdežto vedlejší větve typem 100/25 AlFe 6.





Obr. 3.49 Model Sítě 5 s využitím prvků SG

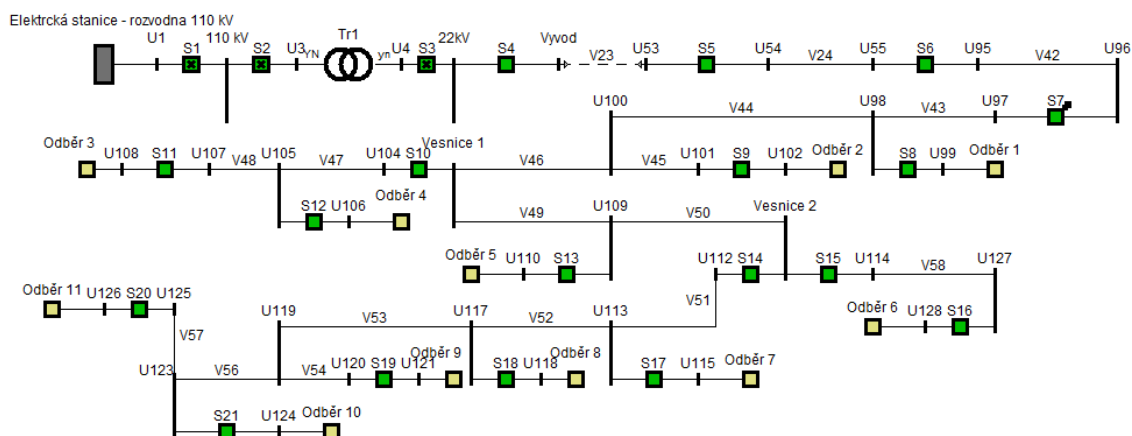
### Výsledky Sítě 5:

Tab. 3.13 Výsledková tabulka Sítě 5

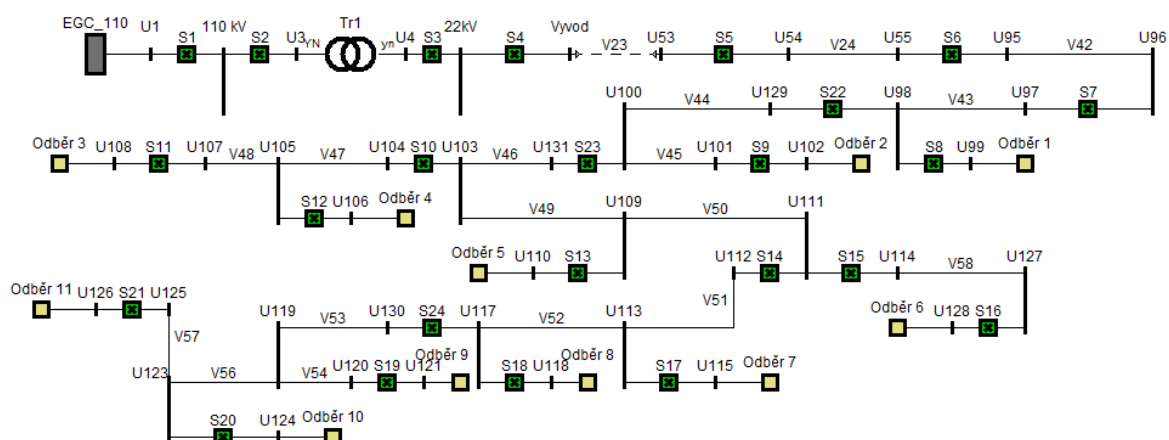
	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,059	5,112	0,059	13,71	0,041	2,661
Odběr 2	0,066	5,68	0,066	15,233	0,046	2,957
Odběr 3	0,264	26,521	0,264	59,292	0,186	14,861
Odběr 4	0,198	28,728	0,198	38,709	0,151	14,693
Odběr 5	0,059	5,967	0,059	13,341	0,042	3,344
Odběr 6	0,066	9,576	0,066	12,903	0,05	4,898
Odběr 7	0,132	19,152	0,132	25,806	0,101	9,796
Odběr 8	0,198	28,728	0,198	38,709	0,169	20,295
Odběr 9	0,073	10,534	0,073	14,193	0,062	7,441
Odběr 10	0,099	14,364	0,099	19,355	0,087	11,034
Odběr 11	0,264	38,305	0,264	51,613	0,232	29,425
Suma	1,479	192,669	1,479	302,865	1,167	121,406

### Model Sítě 6:

Model Sítě 6, je tvořen z valné většiny rozsáhlou zalesněnou oblastí. Oblast je provedena paprskově. Síť je napájena skrz kabelové vedení typu 150 AXEKCY, kde se po 2 km převádí na venkovní vedení, které pokračuje až do dálkově ovládaného spínače S<sub>7</sub>, zde se síť začíná větvit na další úseky. První odběry tedy představují zejména chatové oblasti s malými výkony a malým počtem zákazníků. Skrz vedení V<sub>46</sub> pak elektrina putuje do dvou vesnic, s malým počtem odběratelů, kde se rozděluje mezi jednotlivé odběry. Celá oblast vytvořené sítě má 1000 odběratelů. Venkovní vedení je provedeno typem 120 AIFe 6, s délkou 34,2 km.



Obr. 5.50 Model Sítě 6



Obr. 5.51 Model Sítě 6 s využitím prvků SG

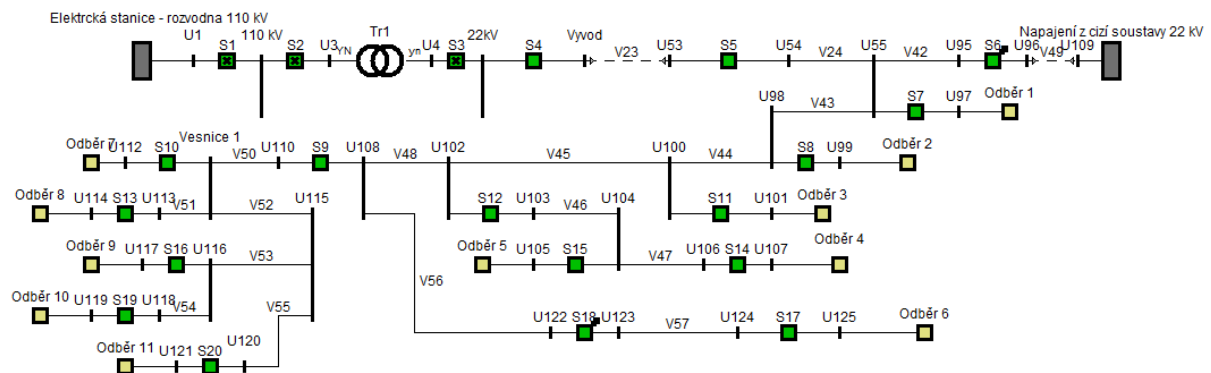
### Výsledky Sítě 6:

Tab. 3.14 Výsledková tabulka Sítě 6

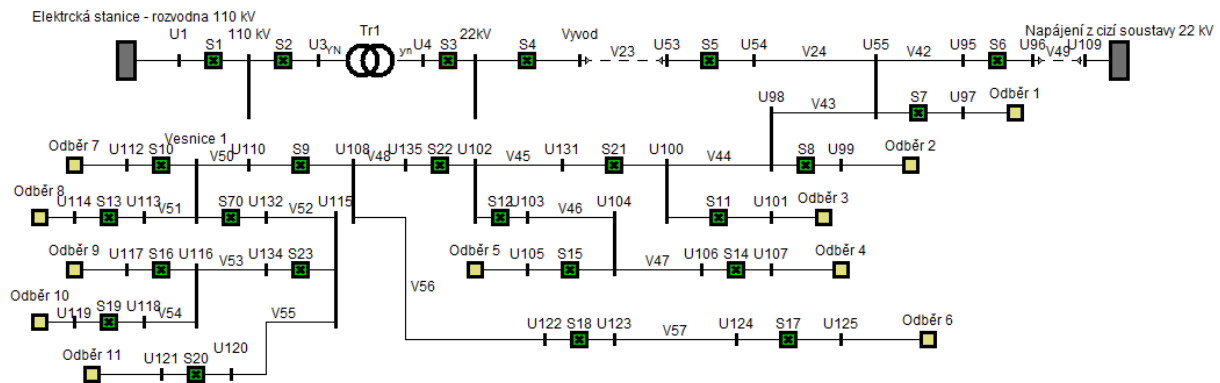
	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,068	15,851	0,068	25,807	0,032	10,534
Odběr 2	0,09	21,135	0,09	34,41	0,047	15,649
Odběr 3	0,072	18,194	0,072	26,69	0,052	16,98
Odběr 4	0,068	17,057	0,068	25,022	0,049	15,919
Odběr 5	0,108	25,362	0,108	41,292	0,07	23,086
Odběr 6	0,135	32,802	0,135	50,898	0,092	30,217
Odběr 7	0,135	40,247	0,135	46,046	0,101	33,04
Odběr 8	0,072	21,465	0,072	24,558	0,054	17,622
Odběr 9	0,099	29,514	0,099	33,767	0,089	28,907
Odběr 10	0,036	10,733	0,036	12,279	0,032	10,512
Odběr 11	0,018	5,366	0,018	6,139	0,016	5,256
Suma	0,902	237,726	0,902	326,907	0,635	207,722

### Model Sítě 7:

Model Sítě 7, je z valné většiny tvořen nížinnou až rovinatou oblastí, bez většího výskytu zalesnění. Oblast je provedena paprskově, avšak celá síť je napájena jednak z elektrické stanice 110 kV, kde se napětí převádí na 22 kV, tak i ze sousední sítě skrz dálkový odpínač  $S_6$ . A to konkrétně skrz venkovní vedení  $V_{24}$  a  $V_{42}$ . Z uzlu  $U_{55}$  se elektrina dále rozvádí mezi jednotlivé odběry, jsou to například chatové, či zahrádkové oblasti s poměrně velkými vzdálenostmi. Konec vedení pak ústí do Vesnice 1. Celá síť má přibližně na 1165 odběratelů elektrické energie. Venkovní vedení je provedeno typem 120 AlFe 6, kdežto vedlejší větve typem 100/25 AlFe 6, celková délka vedení je 37,5 km. Kabelové vedení zajišťující vývod ze stanice a vedlejší sítě, jsou typu 150 AXEKCYP s celkovou délkou 5,15 km.



Obr. 3.52 Model Sítě 7



Obr. 3.53 Model Sítě 7 s využitím prvků SG

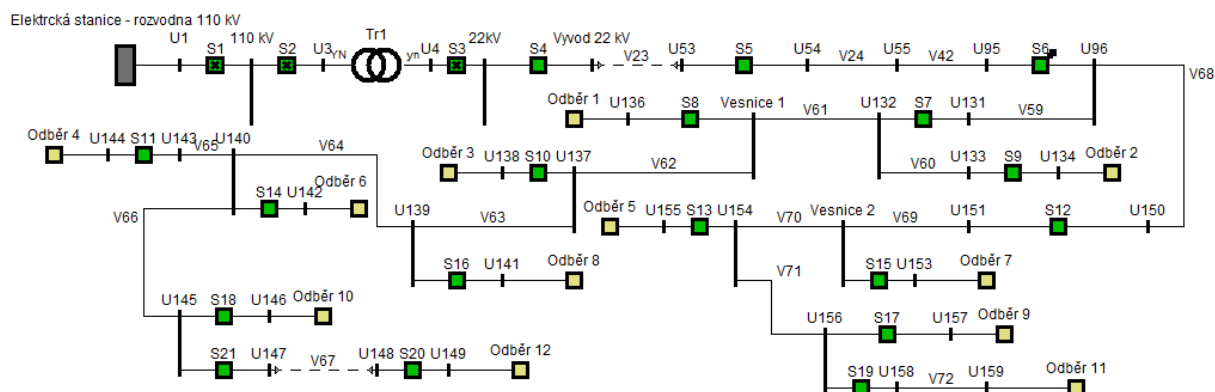
## Výsledky Sítě 7:

Tab. 3.15 Výsledková tabulka Sítě 7

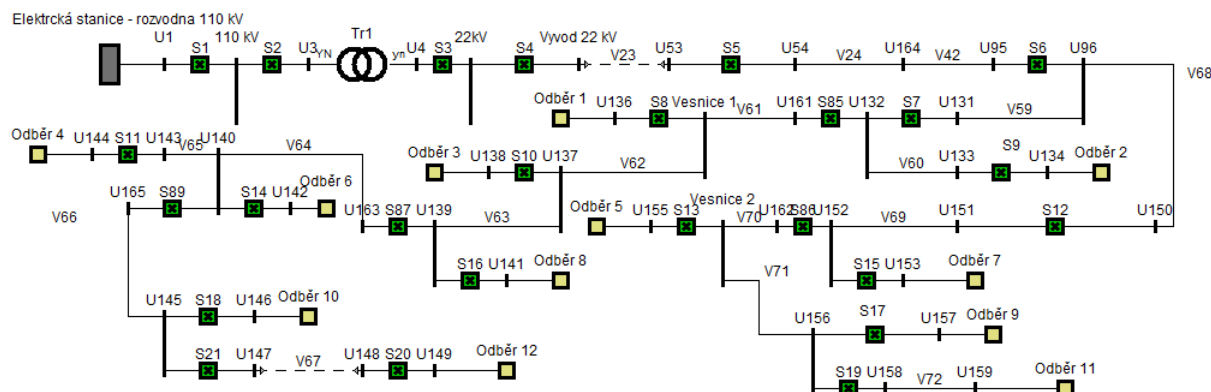
	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek] [·rok <sup>-1</sup> ]	[minut] [·rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek] [·rok <sup>-1</sup> ]	[minut] [·rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek] [·rok <sup>-1</sup> ]	[minut] [·rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,081	14,282	0,081	28,857	0,019	5,889
Odběr 2	0,081	14,282	0,081	28,857	0,019	5,889
Odběr 3	0,027	4,761	0,027	9,619	0,006	1,963
Odběr 4	0,063	12,345	0,063	21,639	0,026	8,204
Odběr 5	0,09	17,636	0,09	30,912	0,037	11,72
Odběr 6	0,18	33,046	0,18	63,276	0,089	27,867
Odběr 7	0,09	21,098	0,09	28,656	0,048	15,16
Odběr 8	0,126	29,537	0,126	40,119	0,067	21,224
Odběr 9	0,099	23,207	0,099	31,522	0,069	21,547
Odběr 10	0,09	21,098	0,09	28,656	0,062	19,588
Odběr 11	0,122	28,482	0,122	38,686	0,08	25,03
Suma	1,05	219,774	1,05	350,8	0,522	164,08

## Model Sítě 8:

Model Sítě 8, je obklopen pahorkatinou, s menším výskytem zalesnění. Oblast je provedena paprskově. Vývod z elektrické stanice zajišťuje kabelové vedení 150 AXEKCÝ s délkou 3 km. Na vývodu dálkové odpínače S<sub>6</sub>, dochází k rozvětvení sítě skrz vedení V<sub>68</sub> do menší Vesnice 2 a přes vedení V<sub>58</sub> do poměrně rozlehlejší Vesnice 1. I zde se nacházejí samostatné odběry mimo vesnice. Celá síť má přibližně na 1150 odběratelů elektrické energie. Venkovní vedení je provedeno typem 120 AlFe 6, kdežto vedlejší větve typem 100/25 AlFe 6, celková délka vedení je 27,45 km. Kabelové vedení zajišťující přívod elektřiny do odběru 12, je typu 95 ANKO s celkovou délkou 2 km.



Obr. 3.54 Model Sítě 8



Obr. 3.55 Model Sítě 8 s využitím prvků SG

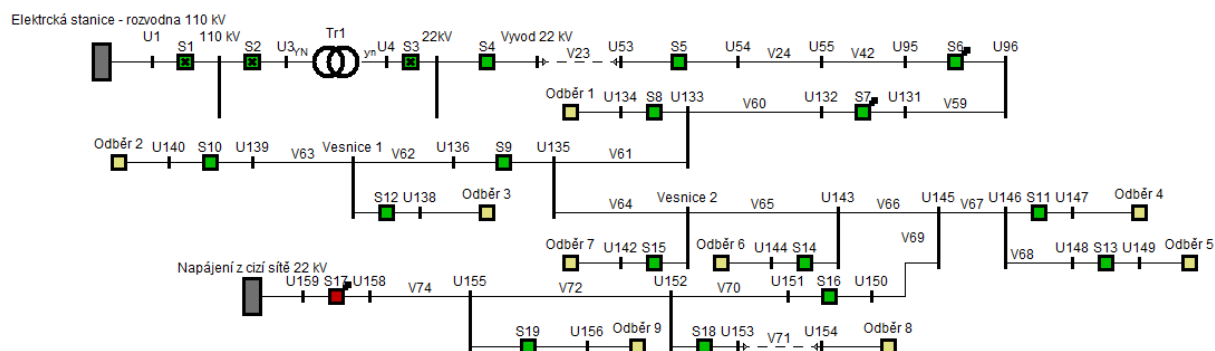
### Výsledky Sítě 8:

Tab. 3.16 Výsledková tabulka Sítě 8

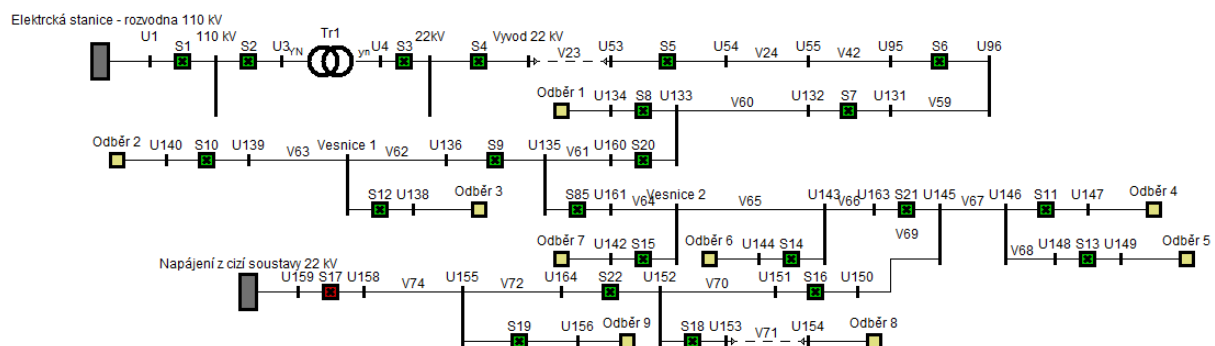
	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,076	20,754	0,076	28,277	0,053	18,398
Odběr 2	0,095	25,942	0,095	35,347	0,057	19,785
Odběr 3	0,091	24,904	0,091	33,933	0,064	22,078
Odběr 4	0,083	22,829	0,083	31,105	0,062	21,238
Odběr 5	0,068	16,723	0,068	26,724	0,045	15,669
Odběr 6	0,099	26,98	0,099	36,761	0,073	25,099
Odběr 7	0,023	5,574	0,023	8,908	0,013	4,685
Odběr 8	0,076	20,754	0,076	28,277	0,053	18,398
Odběr 9	0,049	12,078	0,049	19,301	0,033	11,317
Odběr 10	0,038	10,377	0,038	14,139	0,029	10,048
Odběr 11	0,034	8,527	0,034	13,254	0,023	8,039
Odběr 12	0,14	46,368	0,14	53,951	0,122	45,285
Suma	0,873	241,81	0,873	329,977	0,629	220,038

### Model Sítě 9:

Model Sítě 9, tvoří rozsáhlou nížinnou oblast, s menším výskytem odběratelů. Napájení je zajištěno z elektrické stanice 110 kV. Vývod z elektrické stanice zajišťuje kabelové vedení 150 AXEKCYS s délkou 3 km. V síti je pro vyšší spolehlivost zajištěno náhradní napájení 22 kV ze sousední soustavy, které se nachází na konci Vesnice 2 a je od stávající sítě oddělena dálkovým úsekovým odpínačem S<sub>9</sub>. Síť napájí celkově dvě vesnice, i včetně samostatných odběrů. Vesnice 1 má přes 50 zákazníků a ve Vesnici 2 využívá elektřinu celkově 690 zákazníků. Venkovní vedení je v síti zastoupeno typem 120 AlFe 6 a 100/25 AlFe 6, jejichž délka je dohromady přes 33,7 km. Odběr 8 je napájen skrz kabelové vedení 95 ANKO o délce 3 km.



Obr. 3.56 Model Sítě 9



Obr. 3.57 Model Sítě 9 s využitím prvků SG

### Výsledky Sítě 9:

Tab. 3.17 Výsledková tabulka Sítě 9

	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,055	6,768	0,055	13,383	0,029	1,123
Odběr 2	0,048	6,562	0,048	11,293	0,029	1,63
Odběr 3	0,02	2,812	0,02	4,84	0,013	0,699
Odběr 4	0,164	20,305	0,164	40,148	0,126	6,606
Odběr 5	0,137	16,921	0,137	33,457	0,105	5,505
Odběr 6	0,143	17,767	0,143	35,129	0,096	5,798
Odběr 7	0,102	12,69	0,102	25,092	0,068	4,142
Odběr 8	0,089	10,813	0,089	28,451	0,08	6,81
Odběr 9	0,253	19,431	0,253	69,632	0,219	5,96
Suma	1,011	114,069	1,011	261,425	0,764	38,272





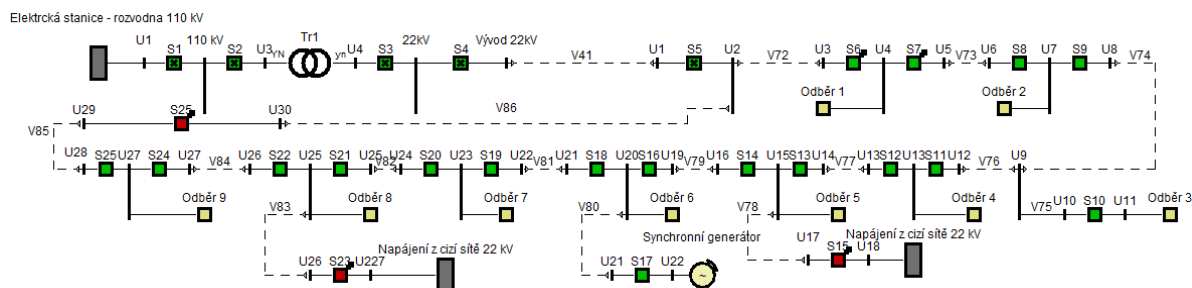
## Výsledky Sítě 10:

Tab. 3.18 Výsledková tabulka Sítě 10

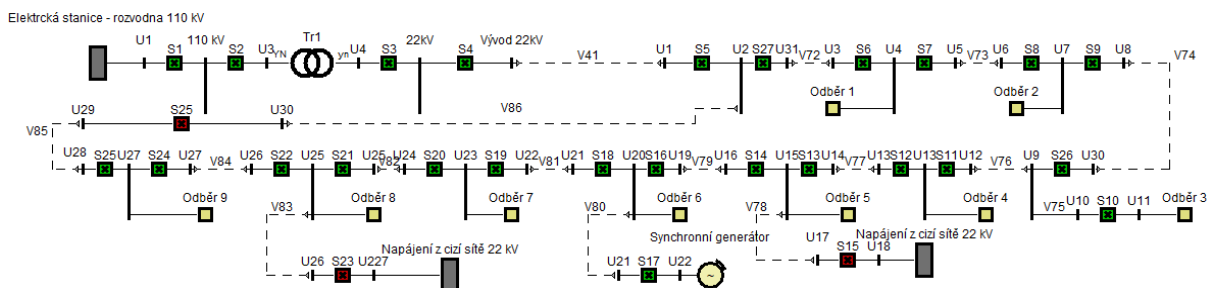
	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,105	20,856	0,105	37,28	0,044	15,132
Odběr 2	0,087	17,38	0,087	31,066	0,04	13,621
Odběr 3	0,07	25,251	0,07	27,808	0,028	9,626
Odběr 4	0,131	26,069	0,131	46,6	0,06	20,431
Odběr 5	0,096	34,72	0,096	38,237	0,041	14,189
Odběr 6	0,061	22,094	0,061	24,332	0,026	9,029
Odběr 7	0,035	13,968	0,035	15,247	0,018	6,651
Odběr 8	0,445	78,765	0,445	78,765	0,165	57,265
Odběr 9	0,445	78,765	0,445	78,765	0,183	63,05
Suma	1,474	317,867	1,474	378,099	0,604	208,993

## Model Sítě 11:

Model Sítě 11, tvoří část městské oblasti. Celá oblast je napájena kabelovým vedením typu 95 AXEKCY a 95 DISTRI o délce 27 km. Protože se jedná o příměstskou oblast vyskytuje se zde velké množství odběratelů, celkem na 6050 zákazníků. Síť je provedena jako mřížová, popř. okružní. Pro vyšší spolehlivost je skrz dálkové úsekové odpínače S<sub>25</sub> a S<sub>15</sub> zajištěno napájení ze sousedních soustav, v bezporuchovém stavu jsou však rozpojeny. Všechny odběry jsou tzv. smyčkovány. V případě výpadku je z jedné strany, je okamžitě možnost rozpojení a napájení odběru z druhé strany, viz kapitola 1.1.1.2.



Obr. 3.60 Model Sítě 11



Obr. 3.61 Model Sítě 11 s využitím prvků SG

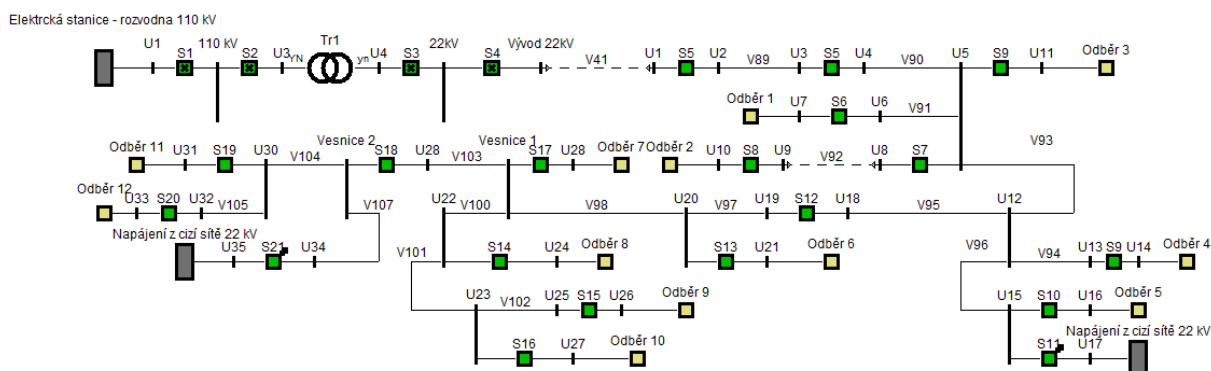
### Výsledky Sítě 11:

Tab. 3.19 Výsledková tabulka Sítě 11

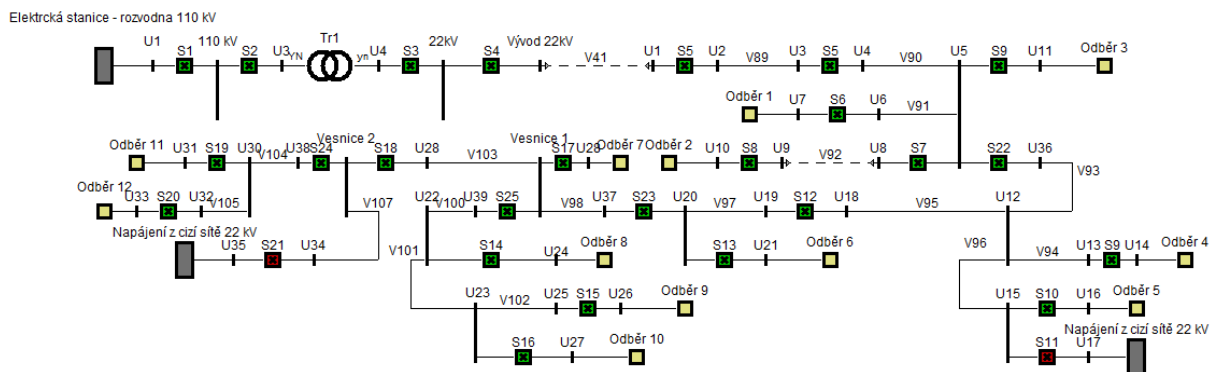
	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek] [ · rok <sup>-1</sup> ]	[ minut ] [ · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek] [ · rok <sup>-1</sup> ]	[ minut ] [ · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek] [ · rok <sup>-1</sup> ]	[ minut ] [ · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,154	6,387	0,154	15,986	0,037	0,613
Odběr 2	0,154	8,725	0,154	8,725	0,047	0,709
Odběr 3	0,165	21,149	0,165	21,149	0,075	9,346
Odběr 4	0,155	8,783	0,155	8,783	0,071	0,95
Odběr 5	0,152	15,547	0,152	15,547	0,092	8,74
Odběr 6	0,003	0,301	0,003	0,301	0,002	0,166
Odběr 7	0,149	8,434	0,149	8,434	0,115	1,379
Odběr 8	0,157	16,215	0,157	16,215	0,142	9,658
Odběr 9	0,154	8,725	0,154	18,324	0,149	1,73
Suma	1,244	94,265	1,244	113,463	0,731	33,291

### Model Sítě 12:

Model Sítě 12, představuje přilehlé vesnice poblíž městu. Napájení je zajištěno z elektrické stanice 110 kV. Vývod z elektrické stanice zajišťuje kabelové vedení 150 AXEKCYS s délkou 3 km. Síť je provedena jako mřížová. Pro vyšší spolehlivost distribuce je skrz dálkové úsekové odpínače S<sub>21</sub> a S<sub>11</sub> zajištěno napájení ze sousedních soustav. Síť napájí celkově dvě vesnice, a to i včetně odlehlých samostatných odběrů. Vesnice 1 má přes 290 zákazníků a ve Vesnici 2 využívá elektrinu celkově 750 zákazníků. V celé oblasti je tak přes 1310 zákazníků. Venkovní vedení je v síti zastoupeno typem 120 AlFe 6 a 100/25 AlFe 6, jejichž délka je dohromady přes 23,85 km. Odběr 2 je napájen skrz kabelové vedení 95 ANKO o délce 1 km.



Obr. 3.62 Model Sítě 12



Obr. 3.63 Model Sítě 12 s využitím prvků SG

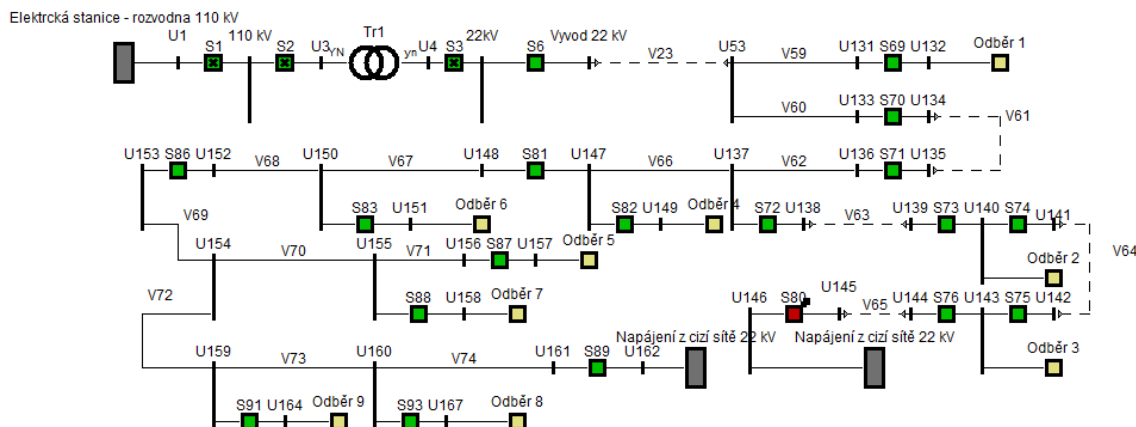
### Výsledky Sítě 12:

Tab. 3.20 Výsledková tabulka Sítě 12

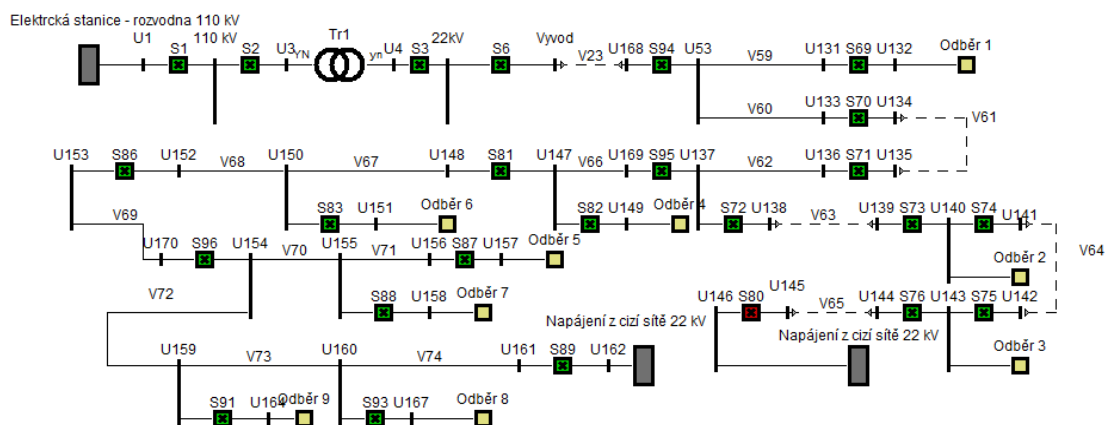
	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,013	1,791	0,013	3,632	0,005	0,579
Odběr 2	0,019	3,387	0,019	5,964	0,008	1,787
Odběr 3	0,022	2,866	0,022	5,812	0,007	0,927
Odběr 4	0,054	7,164	0,054	14,53	0,027	2,994
Odběr 5	0,008	1,075	0,008	2,179	0,004	0,449
Odběr 6	0,03	4,213	0,03	0,03	8,677	0,45
Odběr 7	0,043	6,128	0,043	12,621	0,03	2,686
Odběr 8	0,048	6,894	0,048	14,199	0,04	4,818
Odběr 9	0,011	1,532	0,011	3,155	0,009	1,071
Odběr 10	0,054	7,66	0,054	15,776	0,044	5,353
Odběr 11	0,188	20,028	0,188	59,637	0,164	12,078
Odběr 12	0,215	22,889	0,215	68,156	0,188	13,804
Suma	0,705	85,624	0,705	214,339	0,542	46,997

### Model Sítě 13:

Model Sítě 13, jako v předešlém případě představuje přilehlé odběry a vesnice poblíž městu. Napájení je zajištěno z elektrické stanice 110 kV. Vývod z elektrické stanice zajišťuje kabelové vedení 150 AXEKCYS s délkou 4 km. Síť je provedena jako mřížová. Pro vyšší spolehlivost je skrz dálkové úsekové odpínače S<sub>80</sub> a S<sub>89</sub> zajištěno napájení ze sousedních soustav. Síť napájí celkově přes 9 odběrů, kde elektrickou energii odebírá přes 1095 zákazníků. Venkovní vedení je v síti zastoupeno typem 120 AlFe 6 a 100/25 AlFe 6, jejichž délka je dohromady přes 24,65 km. V soustavě je taktéž velké zastoupení kabelového vedení typu 95 ANKO o délce 6 km.



Obr. 3.64 Model Sítě 13



Obr. 3.65 Model Sítě 13 s využitím prvků SG

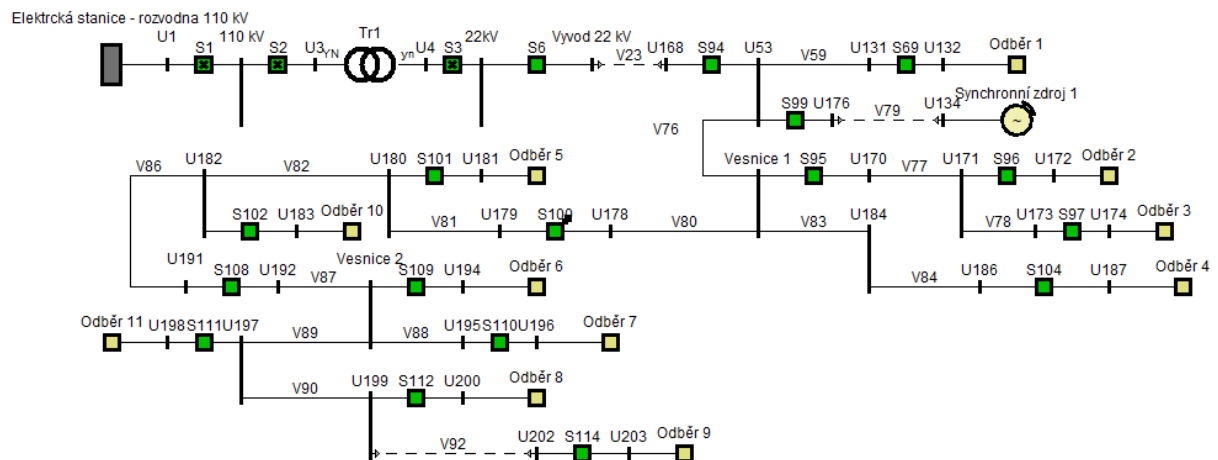
### Výsledky Sítě 13:

Tab. 3.21 Výsledková tabulka Sítě 13

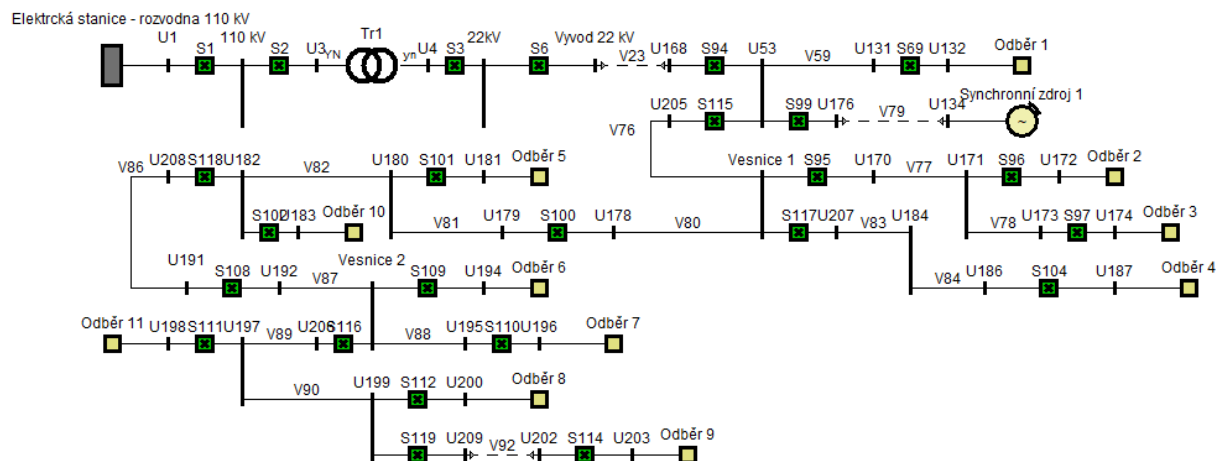
	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek] [· rok <sup>-1</sup> ]	[minut] [· rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek] [· rok <sup>-1</sup> ]	[minut] [· rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek] [· rok <sup>-1</sup> ]	[minut] [· rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,231	40,117	0,231	94,589	0,022	6,822
Odběr 2	0,046	2,849	0,046	2,849	0,006	0,15
Odběr 3	0,231	14,246	0,231	14,246	0,044	0,878
Odběr 4	0,018	1,5	0,018	4,78	0,001	0,227
Odběr 5	0,231	30,213	0,231	52,286	0,056	17,565
Odběr 6	0,023	1,824	0,023	6,009	0,002	0,539
Odběr 7	0,046	6,043	0,046	10,457	0,011	3,513
Odběr 8	0,046	6,043	0,046	10,457	0,011	3,513
Odběr 9	0,139	18,128	0,139	31,371	0,033	10,539
Suma	1,013	120,961	1,013	227,045	0,185	43,745

### Model Sítě 14:

Model Sítě 14, tvoří rozsáhlou nížinnou oblast, s menším výskytem odběratelů. Napájení je zajištěno z elektrické stanice 110 kV. Vývod z elektrické stanice je proveden skrz kabelové vedení 150 AXEKCY s délkou 2,85 km. Na vývodu dálkové odpínače S<sub>94</sub>, dochází k rozvětvení sítě skrz vedení V<sub>59</sub> a V<sub>76</sub>. V síti se vyskytuje synchronní zdroj o provozním výkonu 1500 kW, jenž je do sítě zapojen skrz kabelové vedení 95 ANKO o délce 4 km. Celá síť je tvořena dvěma vesnicemi, a i zde se nacházejí samostatné odběry mimo vesnice. Celá síť má přibližně na 1005 odběratelů elektrické energie. Venkovní vedení je provedeno typem 120 AlFe 6, kdežto vedlejší větve typem 100/25 AlFe 6, celková délka vedení je 24,75 km. Kabelové vedení zajišťující přívod elektriny do odběru 9, je typu 95 ANKO s celkovou délkou 1,85 km.



Obr. 3.66 Model Sítě 14



Obr. 3.67 Model Sítě 14 s využitím prvků SG

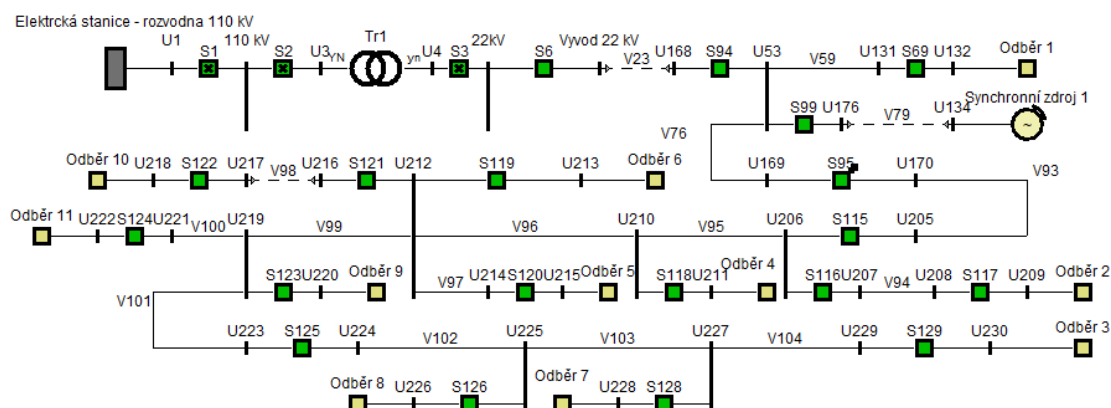
### Výsledky Sítě 14:

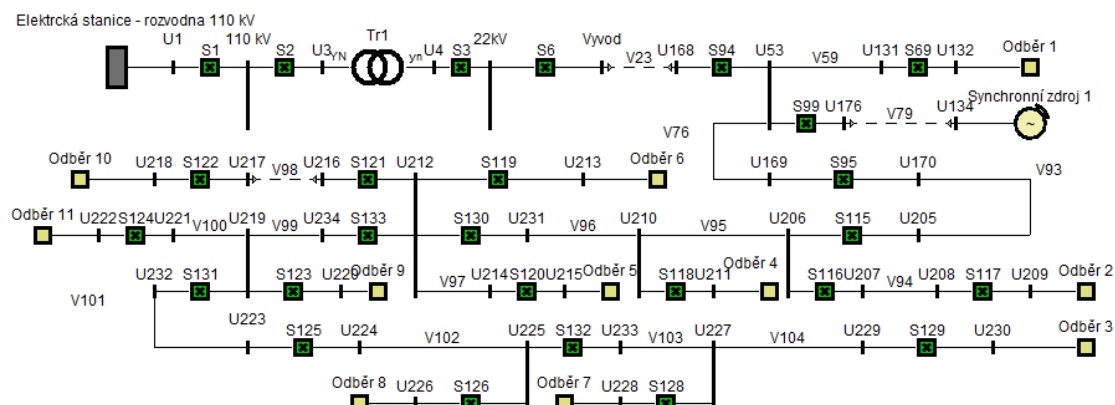
Tab. 3.22 Výsledková tabulka Sítě 14

	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek] [ · rok <sup>-1</sup> ]	[ minut ] [ · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek] [ · rok <sup>-1</sup> ]	[ minut ] [ · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek] [ · rok <sup>-1</sup> ]	[ minut ] [ · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,244	49,918	0,244	105,922	0,068	29,27
Odběr 2	0,049	10,503	0,049	20,846	0,022	8,49
Odběr 3	0,039	8,402	0,039	16,677	0,018	6,792
Odběr 4	0,146	29,951	0,146	63,553	0,069	26,51
Odběr 5	0,019	4,55	0,019	8,214	0,009	3,417
Odběr 6	0,058	20,661	0,058	23,634	0,036	13,392
Odběr 7	0,029	10,331	0,029	11,817	0,018	6,696
Odběr 8	0,097	34,435	0,097	39,39	0,067	24,228
Odběr 9	0,244	86,089	0,244	98,474	0,199	79,377
Odběr 10	0,034	7,963	0,034	14,375	0,015	5,979
Odběr 11	0,019	6,847	0,019	7,838	0,013	4,806
Suma	0,98	269,65	0,98	410,739	0,534	208,957

### Model Sítě 15:

Model Sítě 15, je tvořen poměrně malou zalesněnou oblastí, celkově jde o menší oblast s rovnoměrně rozloženými odběry. Síť je provedena paprskově. Napájení je zajištěno z elektrické stanice 110 kV. Vývod z elektrické stanice zajišťuje kabelové vedení 150 AXEKCYS s délkou 4 km. Kabelové vedení, propojuje odběr 10 a synchronní zdroj se sítí, je využito typu 95 ANKO s celkovou délkou 4 km. Všechny odběry ve vytvořené síti mají celkově přes 1043 zákazníků. K chodu sítě přispívá i synchronní zdroj o provozním výkonu 1800 kW. Venkovní vedení je v síti zastoupeno typem 120 AlFe 6 a 100/25 AlFe 6, jejichž délka je dohromady 20,4 km.





Obr. 3.69 Model Sítě 15 s využitím prvků SG

### Výsledky Sítě 15:

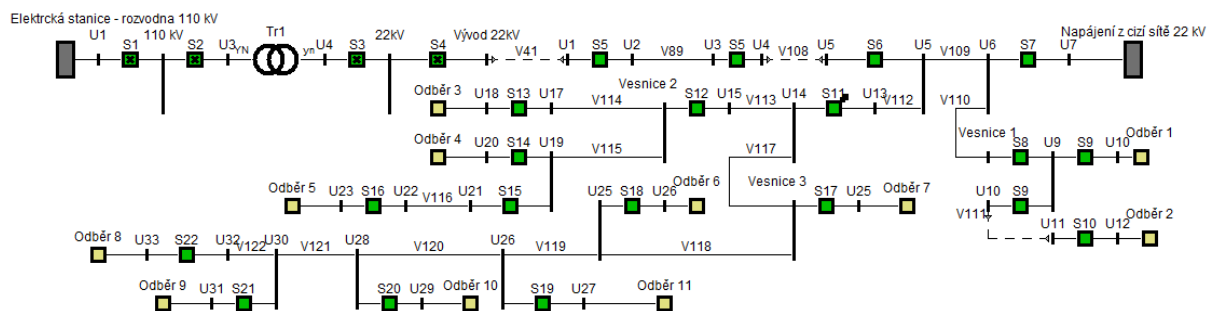
Tab. 3.23 Výsledková tabulka Sítě 15

	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,179	33,815	0,179	81,079	0,071	29,162
Odběr 2	0,09	23,226	0,09	37,02	0,047	18,065
Odběr 3	0,006	1,726	0,006	2,213	0,005	1,656
Odběr 4	0,126	32,101	0,126	52,099	0,064	24,778
Odběr 5	0,039	10,089	0,039	16,374	0,02	7,787
Odběr 6	0,039	10,089	0,039	16,374	0,02	7,787
Odběr 7	0,104	31,279	0,104	40,117	0,083	30,017
Odběr 8	0,043	12,943	0,043	16,6	0,031	11,435
Odběr 9	0,097	24,764	0,097	40,191	0,057	21,57
Odběr 10	0,018	5,541	0,018	7,657	0,011	4,6
Odběr 11	0,111	28,432	0,111	46,145	0,065	24,765
Suma	0,852	214,005	0,852	355,869	0,474	181,622

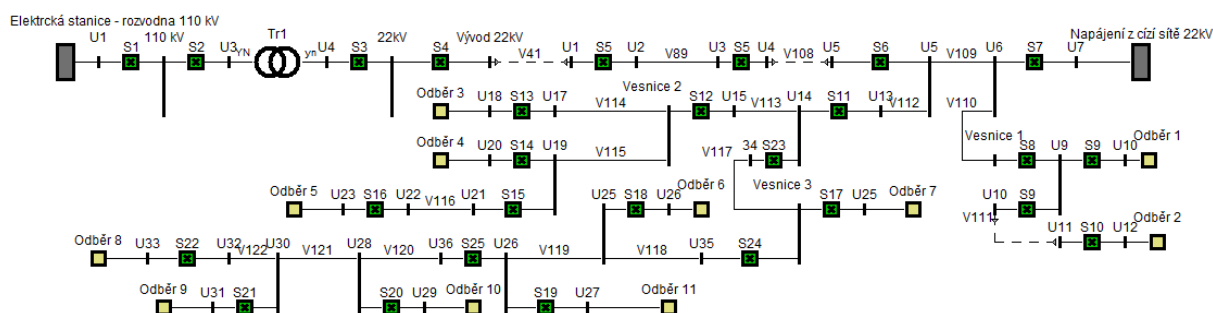
### Model Sítě 16:

Model Sítě 16, představuje přilehlé vesnice vyskytující se poblíž městským částem. Oblast je provedena paprskově, avšak pro vyšší spolehlivost dodávky elektrické energie je zajištěno skrz sepnutý odpínač S<sub>7</sub> náhradní napájení 22 kV z cizí soustavy. Propojení sítě s elektrickou stanicí zprostředkovává kabelové vedení 95 DISTRI s délkou 2 km. Na vývodu dálkového odpínače S<sub>6</sub>, dochází k rozvětvení sítě skrz vedení V<sub>109</sub> a V<sub>112</sub>. Celkově jsou v celé oblasti 3 vesnice, kde odebírá elektřinu na 1820 zákazníků. Venkovní vedení je provedeno typem 120 AlFe 6, celková délka vedení je 26,55 km. Kabelové vedení zajišťující přívod elektřiny do odběru 2, je typu 95 AXEKCYP s celkovou délkou 2 km.





Obr. 3.70 Model Sítě 16



Obr. 3.71 Model Sítě 16 s využitím prvků SG

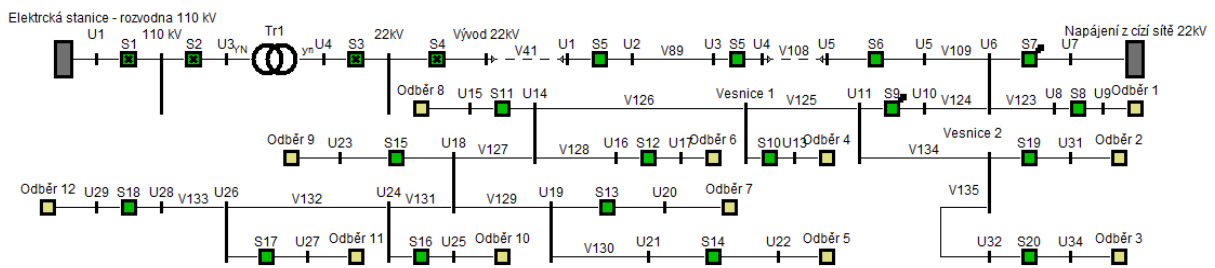
### Výsledky Sítě 16:

Tab. 3.24 Výsledková tabulka Sítě 16

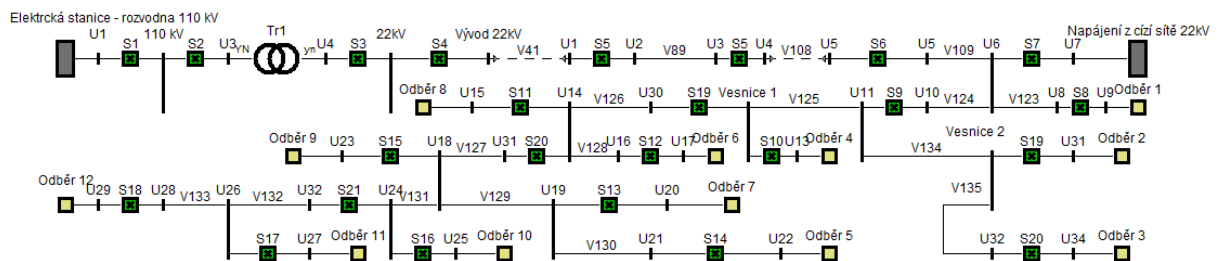
	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,016	1,556	0,016	4,344	0,003	0,922
Odběr 2	0,044	6,709	0,044	14,375	0,012	5,249
Odběr 3	0,081	17,237	0,081	19,182	0,026	8,309
Odběr 4	0,081	17,237	0,081	19,182	0,026	8,309
Odběr 5	0,102	23,884	0,102	26,314	0,042	13,275
Odběr 6	0,081	15,368	0,081	17,312	0,03	9,58
Odběr 7	0,063	11,91	0,063	13,417	0,02	6,439
Odběr 8	0,075	14,215	0,075	16,014	0,038	11,996
Odběr 9	0,022	4,226	0,022	4,761	0,011	3,566
Odběr 10	0,047	8,836	0,047	9,954	0,024	7,457
Odběr 11	0,122	23,051	0,122	25,968	0,046	14,37
Suma	0,735	144,229	0,735	170,823	0,28	89,473

### Model Sítě 17:

Model Sítě 17, je z valné většiny tvořen nížinnou až rovinatou oblastí, s menším počtem odběratelů. Soustava je paprskového provedení. Sít' je napájena skrz kabelové vedení typu 95 DISTRI, kde se po 2,55 km převádí na venkovní vedení, které pokračuje až do spínače  $S_6$ , zde se sít' začíná větvit na další úseky. Pro vyšší spolehlivost distribuce je skrz dálkový úsekový odpínače  $S_7$  zajištěno napájení ze sousední soustavy. Skrz vedení  $V_{124}$  pak elektřina putuje do dvou vesnic, s malým počtem odběratelů, kde jednotlivé odběry jsou ve vesnici rovnoměrně rozloženy. Ve Vesnici 1 využívá elektrickou energii na 585 odběratelů, ve Vesnici 2 celkem 140. Celá oblast vytvořené sítě má tak 750 odběratelů. Venkovní vedení je provedeno typem 120 AlFe 6, s délkou 26,2 km.



Obr. 3.72 Model Sítě 17



Obr. 3.73 Model Sítě 17 s využitím prvků SG

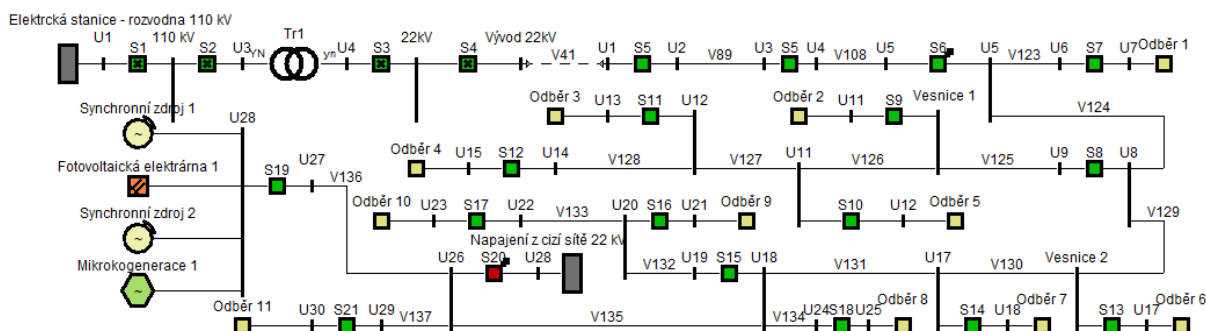
## Výsledky Sítě 17:

Tab. 3.25 Výsledková tabulka Sítě 17

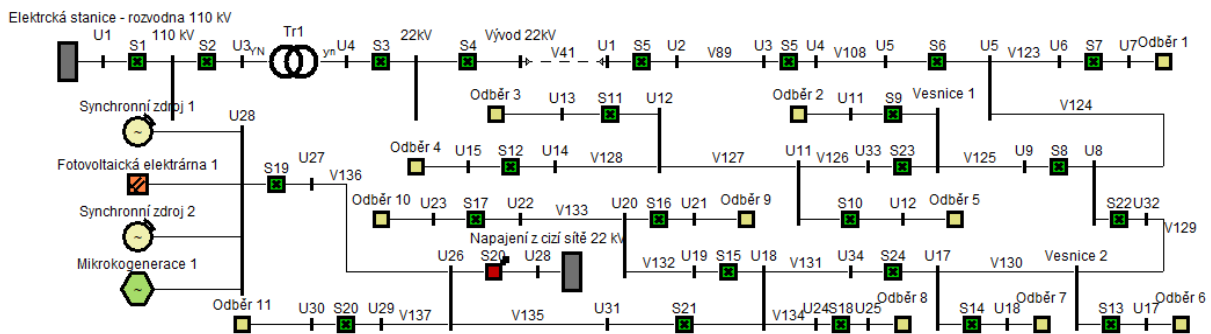
	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek] [ · rok <sup>-1</sup> ]	[ minut ] [ · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek] [ · rok <sup>-1</sup> ]	[ minut ] [ · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek] [ · rok <sup>-1</sup> ]	[ minut ] [ · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,006	0,713	0,006	1,357	0,001	0,408
Odběr 2	0,026	2,92	0,026	5,266	0,005	1,647
Odběr 3	0,01	1,168	0,01	2,106	0,002	0,659
Odběr 4	0,018	2,044	0,018	3,686	0,004	1,153
Odběr 5	0,019	2,19	0,019	3,95	0,004	1,265
Odběr 6	0,009	0,929	0,009	1,75	0,002	0,486
Odběr 7	0,031	3,504	0,031	6,319	0,006	2,024
Odběr 8	0,018	2,044	0,018	3,686	0,004	1,158
Odběr 9	0,017	1,898	0,017	3,423	0,003	1,096
Odběr 10	0,013	1,46	0,013	2,633	0,003	0,843
Odběr 11	0,019	2,19	0,019	3,95	0,004	1,283
Odběr 12	0,006	0,73	0,006	1,317	0,001	0,428
Suma	0,191	21,788	0,191	39,443	0,039	12,447

## Model Sítě 18:

Model Sítě 18, představuje přilehlé vesnice poblíž městu, kde je však zastoupen velký počet elektrických zdrojů, resp. výrobní oblast. Síť je provedena paprskově, avšak pro vyšší spolehlivost soustavy je zajištěno skrz sepnutý odpínač  $S_7$  náhradní napájení 22 kV ze sousední soustavy. Propojení sítě s elektrickou stanicí zprostředkovává kabelové vedení 95 DISTRI s délkou 1,55 km. Na vývodu dálkového odpínače  $S_6$ , dochází k rozvětvení mezi jednotlivé odběry a vesnice. Celkově jsou v celé oblasti 2 vesnice, kde odebírá elektřinu na 1290 zákazníků. Na konci Vesnice 2 je velká výrobní oblast, která dodává souhrnný provozní výkon až 3250 kW. Venkovní vedení je v síti zastoupeno typem 120 AlFe 6 a 100/25 AlFe 6, jejichž délka je dohromady 29,7 km.



Obr. 3.74 Model Sítě 18



Obr. 3.75 Model Sítě 18 s využitím prvků SG

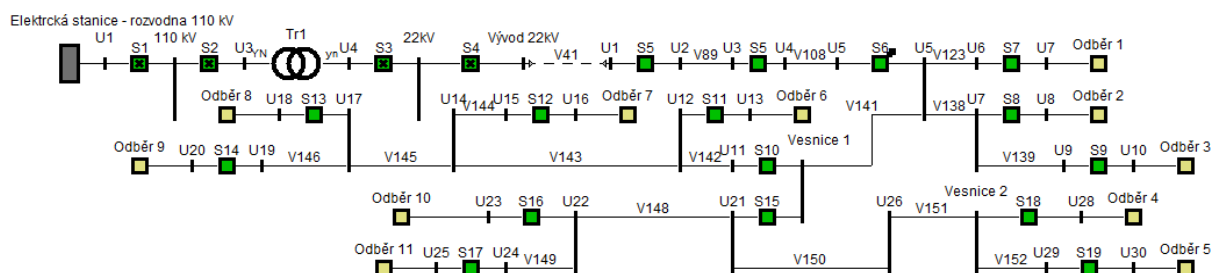
### Výsledky Sítě 18:

Tab. 3.26 Výsledková tabulka Sítě 18

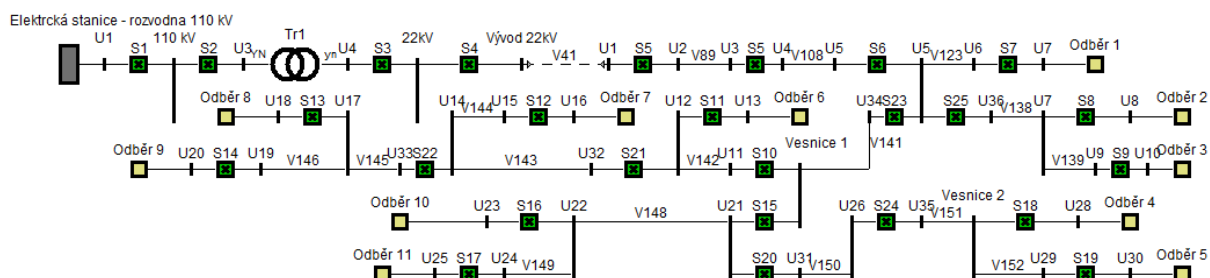
	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,103	18,373	0,103	42,825	0,044	7,212
Odběr 2	0,109	25,435	0,109	30,156	0,057	10,797
Odběr 3	0,136	31,445	0,136	37,347	0,087	18,437
Odběr 4	0,052	12,011	0,052	14,24	0,033	7,097
Odběr 5	0,091	21,196	0,091	25,13	0,059	12,524
Odběr 6	0,015	2,702	0,015	6,298	0,008	0,693
Odběr 7	0,021	3,783	0,021	8,817	0,011	0,97
Odběr 8	0,091	16,211	0,091	37,787	0,055	4,583
Odběr 9	0,028	5,384	0,028	11,093	0,018	2,004
Odběr 10	0,125	24,262	0,125	50,269	0,083	8,866
Odběr 11	0,012	2,162	0,012	5,038	0,009	0,773
Suma	0,783	162,962	0,783	269	0,463	73,955

### Model Sítě 19:

Model Sítě 19, je tvořen rozsáhlou zalesněnou oblastí, zejména horskou. Soustava je opět paprskového provedení, napájení je zajištěno z elektrické stanice 110 kV. Vývod z elektrické stanice zajišťuje kabelové vedení 95 DISTRI s délkou 1,55 km. Síť napájí celkově dvě vesnice, ty jsou od sebe vzdáleny na desítky km, skrz vedení V<sub>150</sub>. Vesnice 1 má přes 1525 zákazníků a ve Vesnici 2 využívá elektřinu celkově 375 zákazníků, celkově tak i s odlehlými odběry má síť přes 2090 odběratelů. Venkovní vedení je v síti zastoupeno typem 120 AlFe 6 a 100/25 AlFe 6, jejichž délka je dohromady přes 34,1 km.



Obr. 3.76 Model Sítě 19



Obr. 3.77 Model Sítě 19 s využitím prvků SG

### Výsledky Sítě 19:

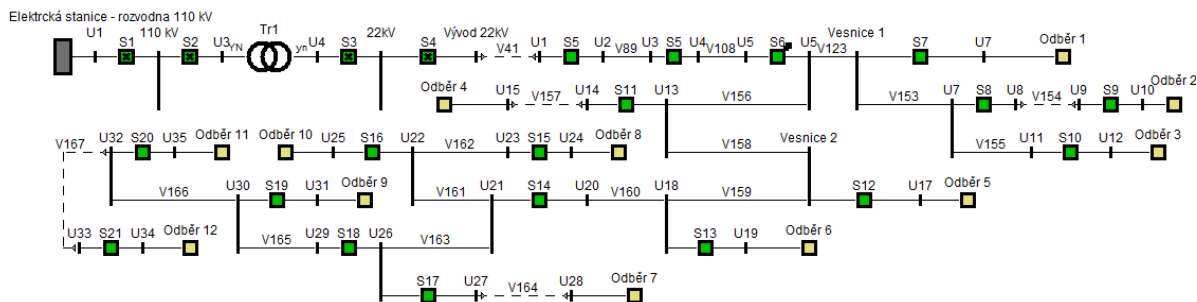
Tab. 3.27 Výsledková tabulka Sítě 19

	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek] [· rok <sup>-1</sup> ]	[minut] [· rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek] [· rok <sup>-1</sup> ]	[minut] [· rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek] [· rok <sup>-1</sup> ]	[minut] [· rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,011	2,269	0,011	5,142	0,003	1,044
Odběr 2	0,021	4,537	0,021	10,284	0,008	2,697
Odběr 3	0,048	10,436	0,048	23,653	0,019	6,203
Odběr 4	0,074	19,965	0,074	25,62	0,053	17,027
Odběr 5	0,084	22,817	0,084	29,28	0,061	19,459
Odběr 6	0,147	38,608	0,147	67,525	0,082	26,291
Odběr 7	0,355	111,029	0,355	130,857	0,318	105,064
Odběr 8	0,122	31,99	0,122	55,949	0,084	26,862
Odběr 9	0,147	38,608	0,147	67,525	0,102	32,42
Odběr 10	0,034	9,127	0,034	11,712	0,019	6,156
Odběr 11	0,091	24,529	0,091	31,476	0,052	16,545
Suma	1,134	313,915	1,134	459,023	0,803	259,768

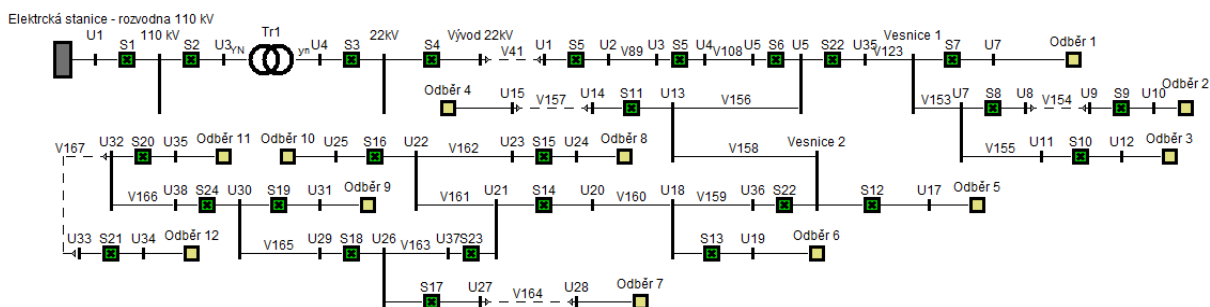
### Model Sítě 20:

Model Sítě 20, je tvořen poměrně malou rovinatou oblastí, celkově jde o menší oblast s rovnoměrně rozloženými odběry. Síť je napájena skrz kabelové vedení typu 95 DISTRI, kde se po 5 km trasa převádí na venkovní vedení, které pokračuje až do spínače S<sub>6</sub>, zde se síť začíná větvit na další úseky. Soustava napájí celkově dvě vesnice, skrz vedení V<sub>123</sub> a V<sub>156</sub>. Vesnice 1 má přes 430 zákazníků

a ve Vesnici 2 využívá elektřinu celkově 848 zákazníků. Odběr 8 představuje velký odběr, v podobě průmyslové továrny a je napájen kabelovým vedením 95 AXEKCY o délce 2 km. Další zbylé kabelové vedení je provedeno stejným typem s délkou 7 km. Venkovní vedení je v síti zastoupeno typem 120 AlFe 6 a 100/25 AlFe 6, jejichž délka je dohromady přes 24,6 km.

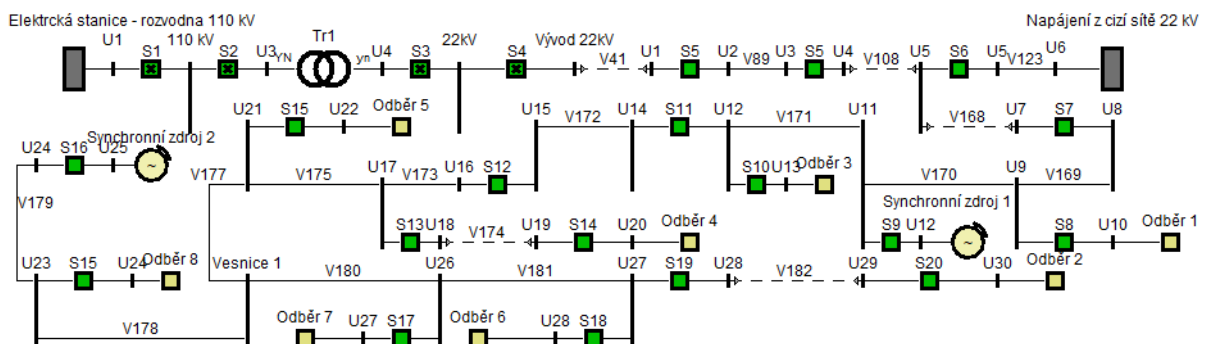


Obr. 3.78 Model Sítě 20

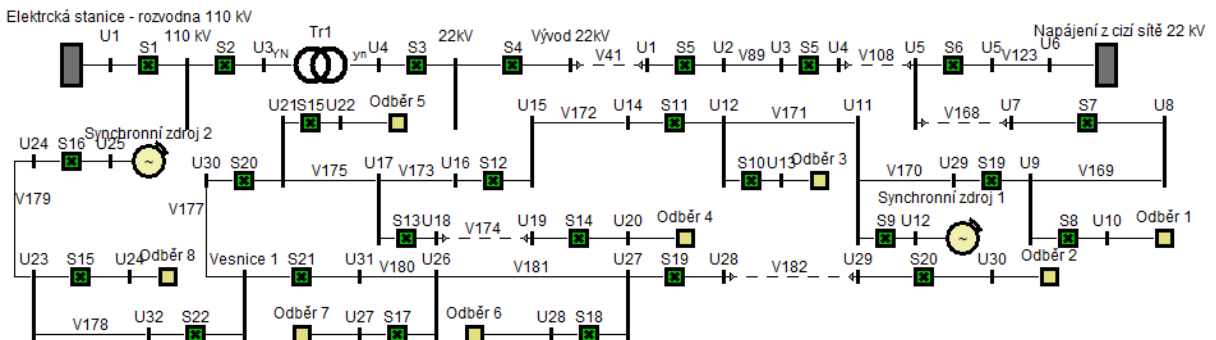


### Model Sítě 21:

Model Sítě 21, je tvořen poměrně malou zalesněnou oblastí, celkově jde o menší oblast s malým výskytem odběratelů. Sít' je provedena paprskově. Napájení je zajištěno z elektrické stanice 110 kV. Vývod z elektrické stanice zajišťuje kabelové vedení 95 DISTRI s délkou 5 km. Pro vyšší spolehlivost soustavy je zajištěno skrz sepnutý odpínač  $S_6$  náhradní napájení 22 kV ze sousední sítě. Jednotlivé odběry mají mezi sebou malou distanci. První čtyři odběry, mají dohromady 155 odběratelů, jedná se o menší chatové oblasti, či rekreační oblasti. Zbylé odběry jsou zastoupeny ve Vesnici 1, kde je na 240 odběratelů. V soustavě se vyskytují dva synchronní stroje, které dodávají do sítě celkově 1125 kW výkonu. Venkovní vedení je v síti zastoupeno typem 120 AlFe 6 a 100/25 AlFe 6, jejichž délka je dohromady 19,62 km.



Obr. 3.80 Model Sítě 21



Obr. 3.81 Model Sítě 21 s využitím prvků SG

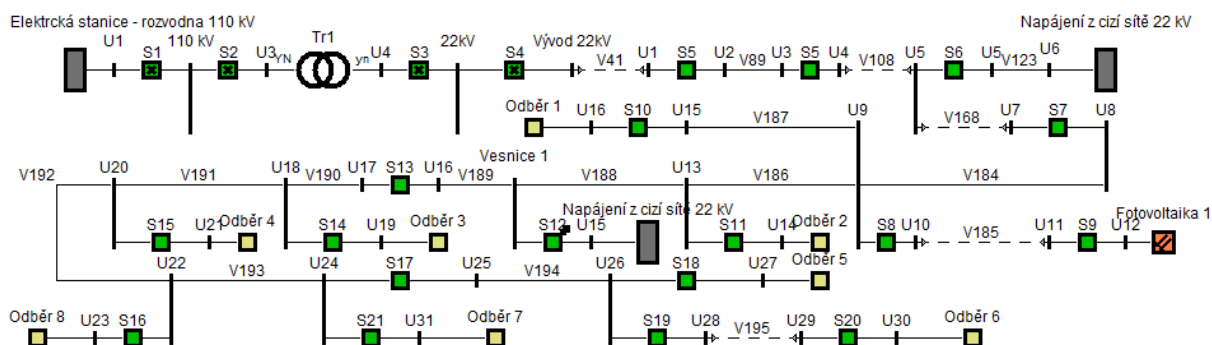
## Výsledky Sítě 21:

Tab. 3.29 Výsledková tabulka Sítě 21

	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek] [· rok <sup>-1</sup> ]	[minut] [· rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek] [· rok <sup>-1</sup> ]	[minut] [· rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek] [· rok <sup>-1</sup> ]	[minut] [· rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,049	9,849	0,049	13,584	0,012	6,668
Odběr 2	0,043	13,278	0,043	16,279	0,027	12,315
Odběr 3	0,127	25,606	0,127	35,319	0,042	20,491
Odběr 4	0,068	17,103	0,068	24,997	0,029	13,054
Odběr 5	0,108	26,876	0,108	39,281	0,045	20,513
Odběr 6	0,176	43,978	0,176	64,278	0,091	38,893
Odběr 7	0,166	41,535	0,166	60,707	0,086	36,732
Odběr 8	0,035	8,796	0,035	12,856	0,017	7,463
Suma	0,772	187,02	0,772	267,301	0,35	156,128

## Model Sítě 22:

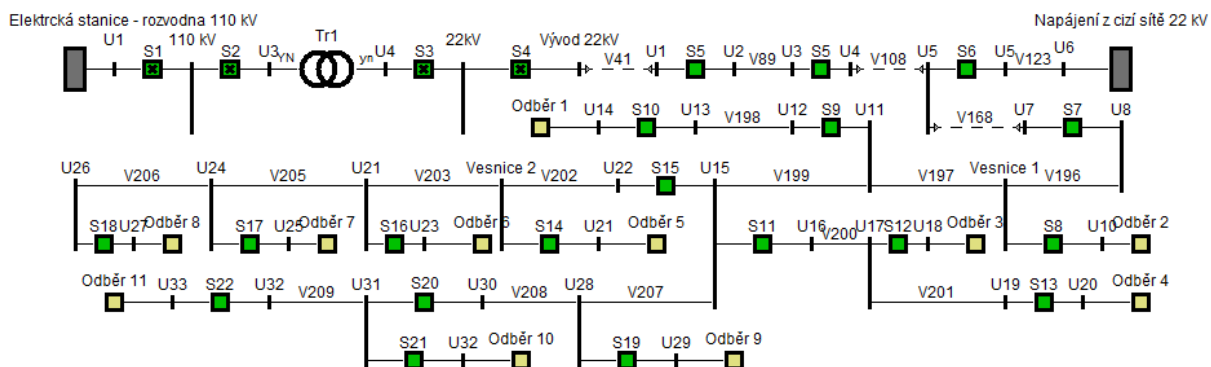
Model Sítě 22, představuje přilehlou vesnici a odběry poblíž městu. Oblast je provedena paprskově, avšak pro vyšší spolehlivost dodávky elektrické energie je zajištěno skrz sepnutý odpínač  $S_6$  a dálkově ovládaný odpínač  $S_{12}$  náhradní napájení 22 kV z cizích soustav. Propojení sítě s elektrickou stanicí zprostředkovává kabelové vedení 95 DISTRI s délkou 5 km. Na chodu sítě se podílí i nedaleká fotovoltaická elektrárna, jenž dodává výkon 850 kW. Celkově v oblasti využívá elektřinu na 1415 odběratelů. Venkovní vedení je provedeno typem 120 AlFe 6, celková délka vedení je 18,25 km. Kabelové vedení zajišťující průběžný rozvod a přívod elektřiny do odběru 6 včetně elektrárny, je typu 95 AXEKCY a 95 ANKO s celkovou délkou 9 km.



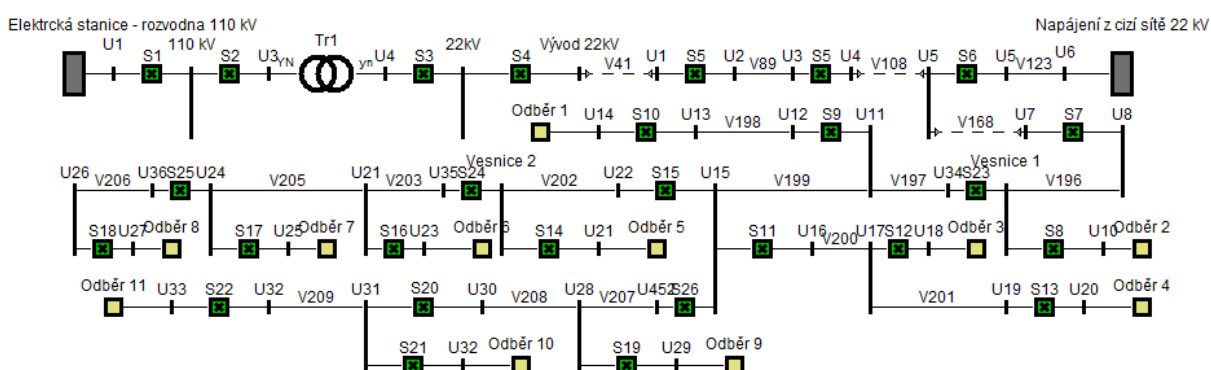
Obr. 3.82 Model Sítě 22







Obr. 3.84 Model Sítě 23



Obr. 3.85 Model Sítě 23 s využitím prvků SG

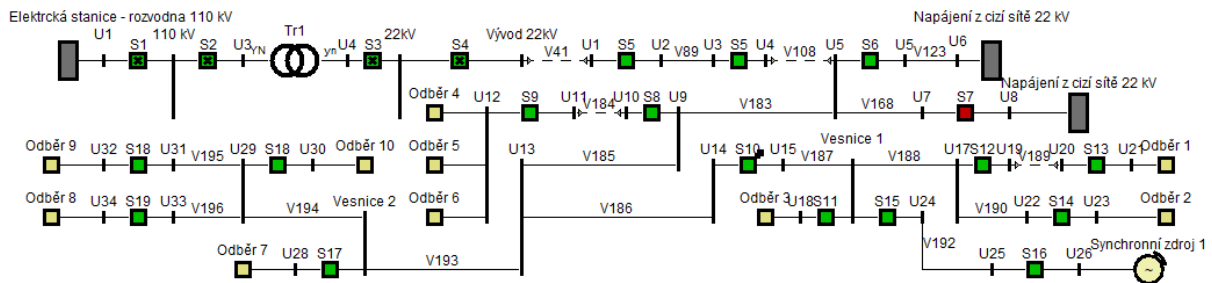
### Výsledky Sítě 23:

Tab. 3.31 Výsledková tabulka Sítě 23

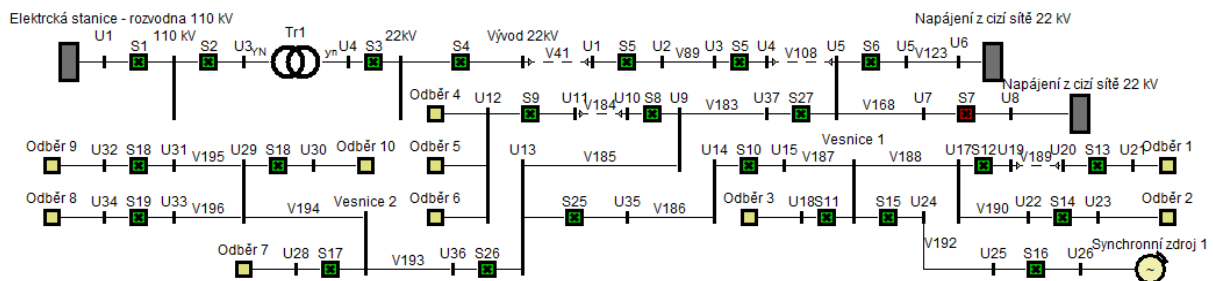
	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,075	16,492	0,075	33,184	0,027	11,984
Odběr 2	0,073	15,738	0,073	32,621	0,02	9,696
Odběr 3	0,081	17,932	0,081	35,76	0,03	13,092
Odběr 4	0,09	19,924	0,09	39,734	0,033	14,547
Odběr 5	0,096	24,72	0,096	32,423	0,041	17,111
Odběr 6	0,099	25,492	0,099	33,436	0,049	19,823
Odběr 7	0,117	30,127	0,117	39,515	0,058	23,428
Odběr 8	0,111	28,582	0,111	37,489	0,057	22,896
Odběr 9	0,06	12,9	0,06	26,738	0,026	10,843
Odběr 10	0,123	28,565	0,123	53,433	0,061	24,847
Odběr 11	0,057	13,237	0,057	24,762	0,028	11,515
Suma	0,984	233,71	0,984	389,095	0,43	179,781

### Model Sítě 24:

Model Sítě 24, představuje přilehlé části města, kde se síť dále rozvíjí mezi tzv. satelitní města. Síť je provedena paprskově, avšak pro vyšší spolehlivost soustavy je zajištěno skrz sepnutý odpínač  $S_6$  náhradní napájení 22 kV ze sousední soustavy. V případě potřeby, či výpadku je rezervě připraven rozepnutý odpínač  $S_7$ . Propojení sítě s elektrickou stanicí zprostředkovává kabelové vedení 95 DISTRI s délkou 5,55 km. Na vývodu dálkového odpínače  $S_5$ , dochází k rozvětvení sítě mezi jednotlivé odběry a vesnice. Celkově jsou v celé oblasti 2 vesnice, kde odebírá elektřinu na 4635 zákazníků. Odběry 4 až 6 představují menší městské sídliště s velkým odběrem a zastoupením odběratelů, konkrétně je zde na 3500 zákazníků. Na chodu sítě se podílí i synchronní zdroj na konci Vesnice 1, jenž dodává výkon 685 kW. Venkovní vedení je v síti zastoupeno typem 120 AlFe 6 a 100/25 AlFe 6, jejichž délka je dohromady 33,25 km. V soustavě je taktéž velké zastoupení kabelového vedení typu 95 ANKO a 95 AXEKCYP o délce 6 km.



Obr. 3.86 Model Sítě 24



Obr. 3.87 Model Sítě 24 s využitím prvků SG

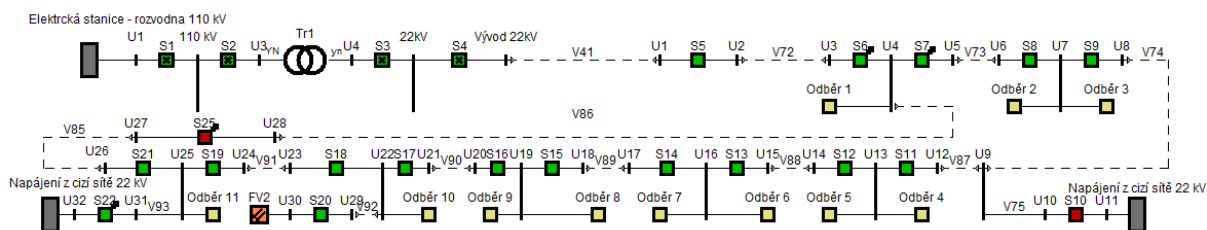
### Výsledky Sítě 24:

Tab. 3.32 Výsledková tabulka Sítě 24

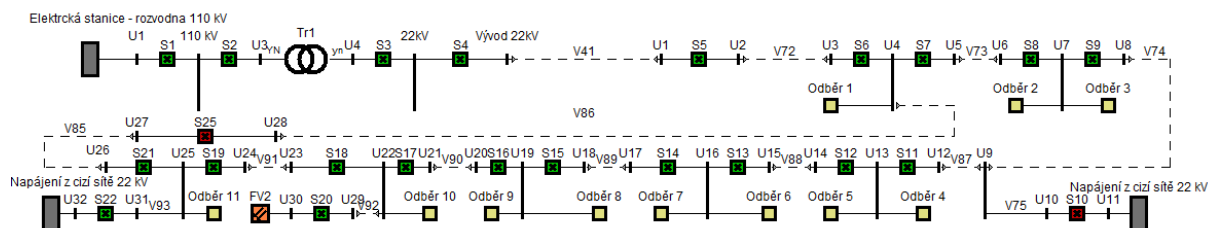
	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek] [· rok <sup>-1</sup> ]	[minut] [· rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek] [· rok <sup>-1</sup> ]	[minut] [· rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek] [· rok <sup>-1</sup> ]	[minut] [· rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,012	3,874	0,012	4,788	0,006	2,802
Odběr 2	0,02	5,319	0,02	7,724	0,007	3,405
Odběr 3	0,023	6,028	0,023	8,754	0,008	3,859
Odběr 4	0,268	76,538	0,268	98,688	0,094	48,903
Odběr 5	0,269	76,92	0,269	99,181	0,094	49,148
Odběr 6	0,298	85,34	0,298	110,037	0,104	54,527
Odběr 7	0,122	30,368	0,122	47,853	0,062	25,961
Odběr 8	0,031	7,675	0,031	12,095	0,016	6,562
Odběr 9	0,135	33,705	0,135	53,112	0,069	28,814
Odběr 10	0,062	15,551	0,062	24,505	0,032	13,294
Suma	1,24	341,319	1,24	466,737	0,491	237,274

### Model Sítě 25:

Model Sítě 25, tvoří část městské oblasti. Celá oblast je napájena kabelovým vedením typu 95 AXEKCY a 95 DISTRI o délce 34,3 km. Protože se jedná o příměstskou oblast vyskytuje se zde velké množství odběratelů, celkem je zde tedy 11 odběrů s 8295 odběrateli. Síť je mřížového typu provedení. Pro vyšší spolehlivost dodávky elektřiny je skrz dálkové úsekové odpínače S<sub>22</sub> zajištěno napájení ze sousední soustavy. V případě potřeby, či poruchy je k dispozici i spínač a S<sub>10</sub>, jenž zaopatřuje další záložní napájení. Všechny odběry jsou tzv. smyčkovány. V případě výpadku je z jedné strany, je okamžitě možnost rozpojení a napájení odběru z druhé strany, viz kapitola 1.1.1.2. Na chodu soustavy se podílí i nedaleká fotovoltaická elektrárna s dodávaným provozním výkonem 300 kW. Zbytek vedení mimo kabelové je typu 120 AlFe 6, o délce 12 km.



Obr. 3.88 Model Sítě 25



Obr. 3.89 Model Sítě 25 s využitím prvků SG

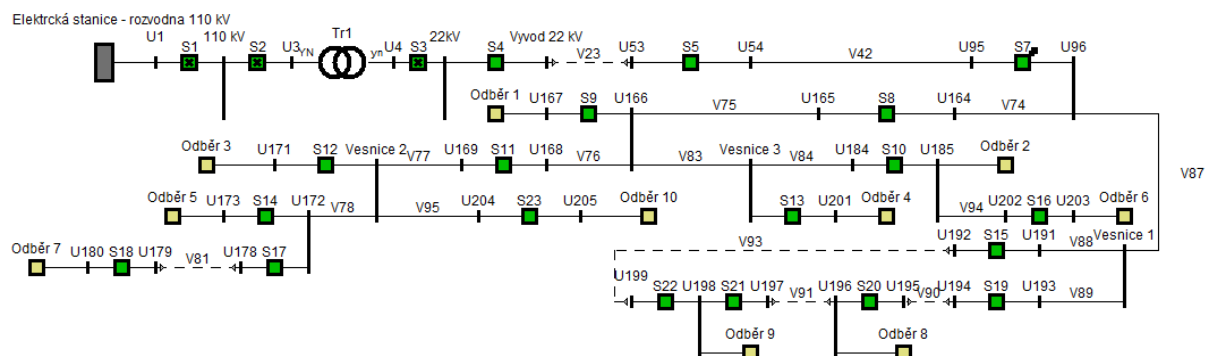
### Výsledky Sítě 25:

Tab. 3.33 Výsledková tabulka Sítě 25

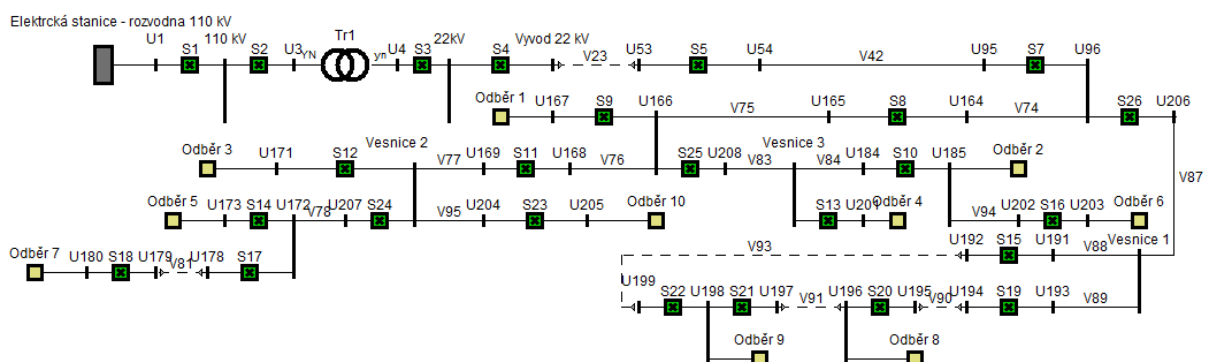
	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,155	16,479	0,155	16,479	0,023	13,853
Odběr 2	0,155	8,057	0,155	8,057	0,001	0,181
Odběr 3	0,175	9,132	0,175	9,132	0,001	0,205
Odběr 4	0,165	8,594	0,165	19,641	0,001	0,193
Odběr 5	0,124	6,446	0,124	14,731	0,001	0,144
Odběr 6	0,125	6,5	0,125	6,5	0,001	0,146
Odběr 7	0,196	10,206	0,196	10,206	0,001	0,229
Odběr 8	0,162	8,433	0,162	13,429	0,001	0,189
Odběr 9	0,19	9,884	0,19	15,739	0,001	0,222
Odběr 10	0,141	11,949	0,141	11,949	0,009	5,264
Odběr 11	0,124	10,525	0,124	11,798	0,016	5,187
Suma	1,709	106,204	1,709	137,661	0,053	25,811

### Model Sítě 26:

Model Sítě 26, je tvořen nížinnou až rovinatou oblastí. Napájení je zajištěno z elektrické stanice 110 kV. Vývod z elektrické stanice je proveden skrz kabelové vedení 150 AXEKCYS s délkou 2,85 km. Na vývodu dálkové odpínače S<sub>7</sub>, následuje rozvětvení sítě skrz vedení V<sub>74</sub> a V<sub>87</sub>. Celá síť je tvořena třemi vesnicemi, a i zde se nacházejí samostatné odběry mimo vesnice. Celá síť má přibližně na 1095 odběratelů elektrické energie. Venkovní vedení je provedeno typem 120 AlFe 6, kdežto vedlejší větve typem 100/25 AlFe 6, celková délka vedení je 33,1 km. Kabelové vedení zajišťující přívod elektřiny do odběru 7, 8 a 9, je typu 95 ANKO s celkovou délkou 10,5 km, poslední zmíněné odběry jsou pro vyšší spolehlivost napájeny z i druhé strany.



Obr. 3.90 Model Sítě 26



Obr. 3.91 Model Sítě 26 s využitím prvků SG

### Výsledky Sítě 26:

Tab. 3.34 Výsledková tabulka Sítě 26

	Klasická síť		Síť před inovací SG prvků		Síť po inovaci SG prvků	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]
Odběr 1	0,074	14,77	0,074	20,807	0,028	9,768
Odběr 2	0,062	13,081	0,062	18,112	0,029	9,874
Odběr 3	0,049	11,505	0,049	12,791	0,024	8,281
Odběr 4	0,093	18,462	0,093	26,009	0,039	13,379
Odběr 5	0,068	15,819	0,068	17,587	0,035	11,772
Odběr 6	0,105	22,237	0,105	30,791	0,049	16,786
Odběr 7	0,025	6,789	0,025	7,431	0,014	5,432
Odběr 8	0,315	65,721	0,315	73,918	0,145	55,523
Odběr 9	0,247	43,258	0,247	49,687	0,099	34,341
Odběr 10	0,315	73,345	0,315	81,541	0,154	52,794
Suma	1,354	284,987	1,354	338,674	0,616	217,951

## 4 Vyhodnocení výsledků

Při porovnání výsledků na vytvořených modelech sítí, bylo zjištěno, že při výměně a nasazení nových SG prvků došlo k výraznému snížení ukazatele nepřetržitosti elektřiny SAIFI, přesněji řečeno došlo tedy k výraznému snížení počtu výpadků na zákazníka za rok. Ke zlepšení ukazatele SAIFI dojde především kvůli tomu, že nově nasazené reclosery nepřenesou vzniklou poruchu dál do soustavy, a tudíž se porucha neprojeví na ostatních větvích, popř. prvcích. Tímto se tedy značně sníží četnost poruch v síti. Viz je o tomto principu pojednáno více v kapitole 2.2. Konkrétněji v číslech, je dosaženo ve všech soustavách vylepšení ukazatele SAIFI, a to zhruba o polovinu původní hodnoty. Pro přehlednost je v této kapitole uvedena souhrnná Tabulka 4.35 a následný Graf 4.2, jenž vyjadřuje, o jaký rozdíl dojde ke změně globálních ukazatelů v síti. V Tabulce 4.36, lze vidět procentuální porovnání, resp. o kolik procent dojde ke zlepšení z původní hodnoty.

Jako další důležitý bod bylo dosaženo výrazného snížení ukazatele nepřetržitosti elektřiny SAIDI, došlo tedy ke snížení průměrné souhrnné doby výpadku u zákazníků v síti. Konkrétně pro jednotlivé modely sítí došlo ke snížení doby výpadku, a to v řádech několika desítek až stovek minut. To je způsobeno zejména specifickou vlastností recloserů, které dokážou přispět k vymezování poruchy a tím rychlejší obnově distribuce elektřiny. Nemalou roli hraje i manipulační čas spínacího prvku, u recloserů je to téměř okamžitě (avšak počítá se doba přerušení delší jak 3 minuty). U dálkově ovládaných odpínačů to jsou minuty, u klasických odpínačů a úsekových spínačů až několik desítek minut, viz kapitola 2.2. Pro lepší přehlednost je v této kapitole uvedena souhrnná Tabulka 4.35 a následný Graf 4.3, jenž vyjadřuje, o jaký rozdíl dojde ke změně globálních ukazatelů v síti. V Tabulce 4.36, lze vidět procentuální porovnání, resp. o kolik procent dojde ke zlepšení z původní hodnoty.

Aby v této práci nebylo pojednáváno pouze o pozitivních vlivech SG, je třeba upozornit i na jistá negativa s tímto tématem spojená. Pro přesné vyčíslení negativního stavu byl proveden výpočet druhého stavu, jenž pojednává o době, resp. roce, ve kterém dojde k hromadnému nasazování SG prvků v síti. Na zvolených předřadných odpínačích a úsekových spínačích, byly výrazně zvýšeny manipulační časy, řádově hodiny. Ty by měly odpovídat odstávce, jenž je pro montáž a rekonstrukci vyčleněna. Před výpočty však bylo provedeno jisté zjednodušení, výpočet modelu sítě nebyl proveden pro každý vyměněný či vložený recloser, tudíž nemohlo dojít k průběžnému zlepšení SAIFI. Výpočet byl uskutečněn pro hromadnou montáž všech prvků zároveň, předpokládáme tedy nejhorší stav a s ním výrazné zhoršení ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny SAIDI. K posouzení zhoršení lze využít Tab. 4.36, kde je zhoršení SAIDI vyčísleno v procentech. Jde o zhoršení ku základnímu stavu, tedy klasické síti. Pro lepší přehlednost je na následujících stránkách umístěn Graf 4.1.

K celkovému vyhodnocení jsou tedy pro lepší přehlednost umístěny grafy, které pojednávají o změnách SAIFI a SAIDI, v jednotlivých modelech. Z výsledků jde také upozorovat, že ačkoli je počet prvků v sítích přibližně stejný (max. 100 prvků pro jednu síť), jsou výsledky jednotlivých globálních ukazatelů rozdílné. To je především zapříčiněno tím, že při výpočtech hrají velkou roli jak klasické, tak i spolehlivostní parametry soustavy, tím je myšleno např. délka a typ vedení, manipulační čas spínacích prvků, specifický počet zákazníků v soustavě, topologie sítě, podíl kabelových vedení či geografické podmínky atd. Další důležitou úlohou při modelování, bylo i správné umístění těchto SG prvků do klíčových míst sítě.

Kvůli omezení programu nebylo možné vytvořit jeden velký model soustavy, který by se podobal skutečné distribuční síti. Aby bylo k této skutečnosti alespoň částečně přiblíženo, bylo provedeno procentuální vyhodnocení jednotlivých sítí, kde se následně provedl průměr všech zhoršení a zlepšení ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektřiny SAIFI a SAIDI. O tomto shrnutí pojednává Tabulka 4.37. V procentuálním průměru dojde tedy ve všech vytvořených sítích k 47 % zlepšení ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny SAIFI, a o 31 % zlepšení ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny SAIDI. Před tím, než však dojde k tomuto značnému vylepšení, je třeba počítat s již zmíněným zhoršením SAIDI, který je dán vlivem odstávek při montáži. V procentuálním průměru tedy dojde vzhledem k původní hodnotě SAIDI ke zhoršení, a to až o 50 %.

Vzhledem ke zhoršení ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny SAIDI je třeba při provozování DS dbát na zvýšenou pozornost, protože zhoršení sebou může nést velké postihy a následky. Každý provozovatel distribuční sítě (PDS) je povinen splnit limity určené ERÚ. V případě nedodržení těchto limitů může dojít k značně velkým finančním sankcím, nehledě na celkovou image společnosti. Každý PDS je proto nucen hledat specifické způsoby, jak tyto zhoršené hodnoty SAIDI a SAIFI při odstávce do značné míry co nejvíce omezit.

Mezi přijatelné možnosti, díky kterým dosáhneme omezení vlivu odstávek na ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny patří:

- PPN – práce pod napětím:

Práce pod napětím představuje veškeré práce, při kterých se osoba úmyslně dostává do styku se živými částmi, nebo zasahuje do ochranného prostoru buď částmi svého těla, náradím, vybavením, nebo předměty, se kterými pracuje. Osoby vykonávající tuto činnost musejí být speciálně vybaveni a vyškoleni (stupeň způsobilosti). U PPN se využívají tři nejčastější uznávané pracovní metody, tj. práce na vzdálenost, práce v dotyku a práce na společném potenciálu. Práce pod napětím musí být přerušena nebo omezena, pokud dojde k nepříznivým atmosférickým vlivům, např.: bouřka, hustá mlha, silný vítr atd. Tato metoda lze uplatnit pouze u napěťových hladin nn a vn, na napěťové hladině vvn použít nelze.

- NPT – budování náhradních přenosových tras:

Speciální technologie vyvinutá pro dočasné vedení elektrické energie, jeho podstatě se prakticky postaví provizorní vedení, jenž je využíváno po celou dobu odstávky. Jedná se o stavebnicově složený systém. Po dokončení odstávky se vedení rozmontuje. Výhodou je široká využitelnost pro všechny napěťové hladiny a možnost ukotvení stožáru bez nutnosti vytvoření základu. Tato metoda se uplatňuje především při dlouhodobých odstávkách v podobě rozsáhlých rekonstrukcí vedení. Značnou nevýhodou jsou velké finanční náklady.

- MZS – mobilní zdrojové soustrojí (použití náhradních zdrojů energie):

Za pomoci náhradních zdrojů energie lze dosáhnout výrazného snížení dopadu odstávky na ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny. Náhradní zdroj energie většinou představuje dielelektrický zdroj o jmenovitých výkonech, jenž se rovnají DTS čili 160 kVA, 200 kVA, 400 kVA atd. Náhradní zdroj energie se využívá buď pro celé distribuční stanice nebo pak pro konkrétní odběratele v síti.



Každá zmíněná metoda by se při hromadných odstávkách vlivem inovace SG prvků dala využít, hlavní myšlenkou je tedy to, že by vlivem těchto metod bylo možno značně snížit dopady zhoršení na ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny SAIDI. Pokud by se měla zvolit jedna konkrétní metoda, která by byla uplatněna, můžeme využít významných poznatků v práci [26]. V této disertační práci došlo ke srovnání jednotlivých metod dle určitých kritérií, jež byly stanoveny odborníky z praxe. Z provedených analýz se tedy jeví jako nejlepší metoda PPN, v případech, kde by nešlo uplatnit PPN, využilo by se pak následně metody MZS, tedy konkrétně pro napěťové hladiny vn a nn. Uplatnění metody NPT se jeví jako velmi finančně nákladné a je vhodné především pro napěťové hladiny vvn.

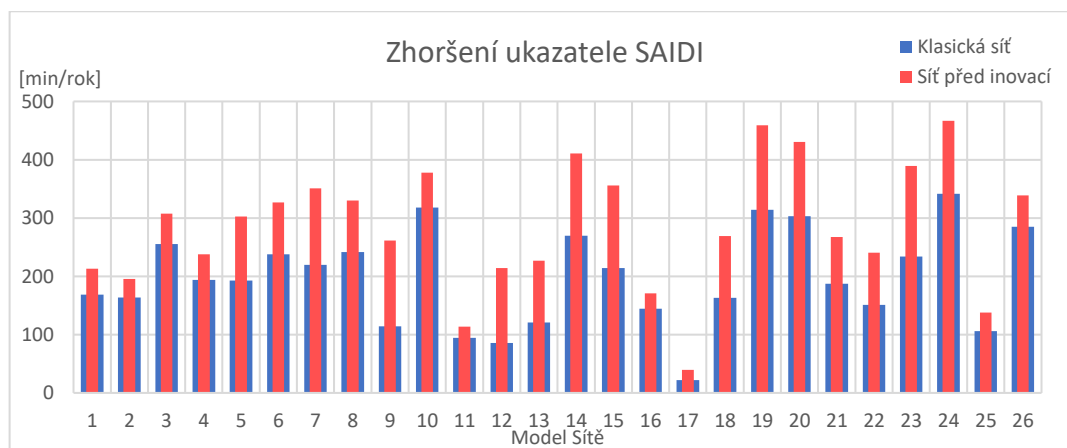
Jako jednu z nejlepších možností omezení dopadů zhoršení ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny SAIDI by však bylo docílení určité dohody s ERÚ, jakožto PDS. Hlavním úkolem ERÚ je dostatečně motivovat PDS, a tím tak zvyšovat kvalitu dodávek konečným zákazníkům. Ve skutečnosti si je však ERÚ vědom, že rozvoj a rekonstrukce DS sebou nese jak finanční, tak i časovou náročnost. Tím vzniká možnost určitého „kompromisu“. PDS by tak vypracoval rozvojový projekt DS, jenž by poskytl ERÚ. Tento projekt by byl v souladu se §25 zákonem č. 458/2000 Sb. v platném znění, o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změnách některých zákonů (dále Energetický zákon) a Pravidel provozování distribuční soustavy. PDS by v tomto dokumentu uvedl zásadní informace o předpokládaném rozvoji soustav v souladu se schválenou „Strategií rozvoje Smart Grids“, pro rozvojové období dvou až tří let. To by zahrnovalo veškerou analýzu a problematiku dle Vyhl. č.540/2005 Sb. (konkrétně §21). Hlavním záměrem této dohody by tedy bylo vyjednání smlouvy mezi PDS a ERÚ, kde by se docílilo zmírněného či úplného odpuštění penalizace z pohledu ERÚ, za krátkodobé zhoršení ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny SAIDI (první rok před inovací SG prvků) a to z toho důvodu, že se jedná o opatření, které výrazně zlepšení ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny SAIFI, SAIDI v budoucnosti (druhý rok po inovaci SG prvků).

Tab. 4.35 Souhrnná tabulka změny globálních ukazatelů při nasazení SG

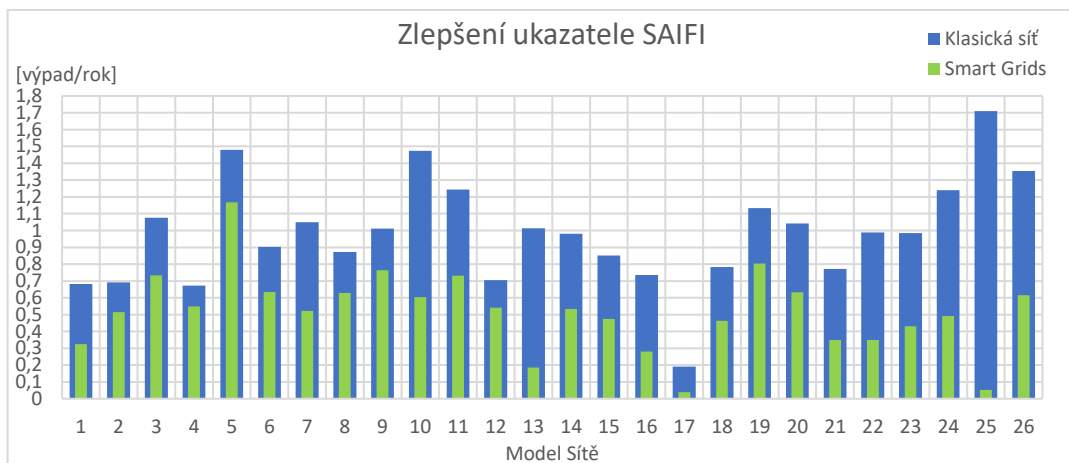
Model Sítě	SAIFI	SAIDI	Model Sítě	SAIFI	SAIDI
	[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]		[výpadek · rok <sup>-1</sup> ]	[minut · rok <sup>-1</sup> ]
1	0,358	61,355	14	0,446	60,974
2	0,176	17,916	15	0,378	32,383
3	0,342	81,505	16	0,455	54,756
4	0,123	11,871	17	0,152	9,341
5	0,312	71,263	18	0,32	89,007
6	0,267	30,004	19	0,331	54,147
7	0,528	55,664	20	0,41	52,416
8	0,244	21,772	21	0,422	30,892
9	0,247	75,797	22	0,749	67,853
10	0,87	108,874	23	0,554	53,729
11	0,513	60,974	24	0,749	104,045
12	0,163	38,627	25	1,656	80,393
13	0,828	77,218	26	0,738	67,036

Tab. 4.36 Souhrnná tabulka procentuální změny globálních ukazatelů při nasazení SG

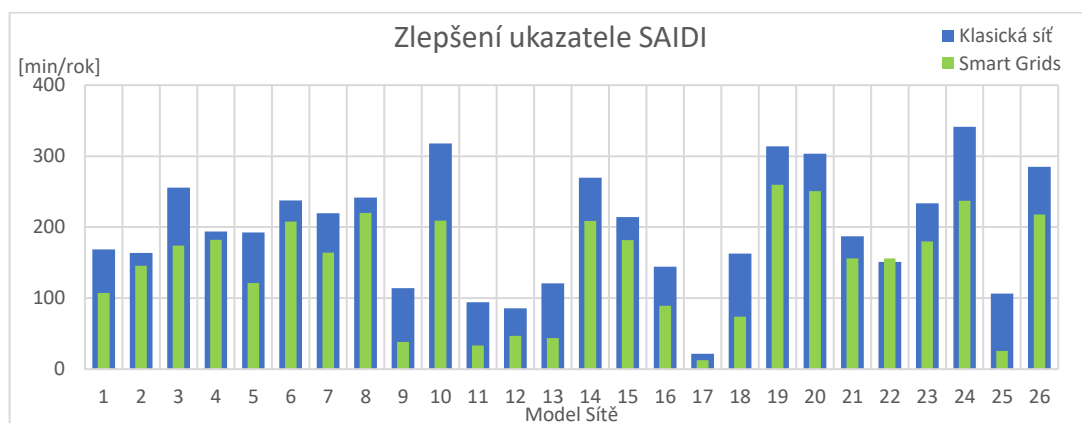
Model Sítě	Zhoršení před inovací SG	Zlepšení při nasazení SG		Model Sítě	Zhoršení před inovací SG	Zlepšení při nasazení SG	
	SAIDI	SAIFI	SAIDI		SAIDI	SAIFI	SAIDI
	[%]	[%]	[%]		[%]	[%]	[%]
1	26	52	36	14	52	46	23
2	19	26	11	15	66	44	15
3	20	32	32	16	19	62	38
4	23	18	6	17	81	80	43
5	57	21	37	18	46	41	17
6	38	30	13	19	42	29	17
7	60	50	25	20	43	39	17
8	36	28	9	21	59	55	-3
9	129	24	66	22	66	65	23
10	19	59	34	23	37	56	30
11	20	41	65	24	37	60	30
12	150	23	45	25	30	97	76
13	88	82	64	26	19	54	24



Graf 4.1 Grafické znázornění zhoršení ukazatele SAIDI



*Graf 4.2 Grafické znázornění zlepšení ukazatele SAIFI*



*Graf 4.3 Grafické znázornění zlepšení ukazatele SAIDI*

*Tab. 4.37 Souhrnná tabulka procentuálního průměru všech sítí při nasazení SG*

Všechny sítě	Zhoršení před inovací SG	Zlepšení při nasazení SG	
	<i>SAIDI</i>	<i>SAIFI</i>	<i>SAIDI</i>
	[%]	[%]	[%]
Průměr	49,3	46,7	30,5

## Závěr

Tato diplomová práce se zabývá problematikou Smart Grids spolu s následným dopadem na distribuční síť. Konkrétněji jaký vliv má hromadné zavádění prvků Smart Grids na spolehlivost dodávky elektřiny, respektive na standardy distribuce elektřiny a ukazatele nepřetržitosti elektřiny SAIFI, SAIDI.

V úvodu práce byly podrobně vysvětleny základní pojmy a principy distribučních sítí, zakončené zběžným popisem aktuálních provozovatelů DS a jejich působením. Následuje objasnění významu Smart Grids spolu s jeho definicí. V druhém bodu teoretické části byly objasněny důvody zavádění Smart Grids v DS a shrnuty výhody oproti stávajícím sítím. Ukončení druhé teoretické kapitoly se zaměřilo především na popis a vlastnosti prvků Smart Grids, i s názornými příklady uplatnění.

Cílem praktické části bylo demonstrovat uplatnění výše zmíněných prvků na reálné síti a jejich následných dopadů na ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny SAIFI, SAIDI. Z důvodů právních a licenčních ochran jednotlivých distributorů elektřiny na území ČR však nebylo možno získat reálná schémata distribučních soustav a bylo zapotřebí si dané síti nasimulovat. Namodelování sítí bylo tedy uskutečněno v softwaru DNCalc. V první praktické části došlo ke stručnému seznámení s Vyhláškou č.540/2005 Sb., jenž je stanovena ERÚ. Z této vyhlášky jsou přejaty vztahy potřebné k výpočtům ukazatelů nepřetržitosti elektřiny. Dále před samotným modelováním následuje stručný popis softwaru DNCalc a jeho funkcí. Následuje výpočet ukázkového příkladu, který je srovnán s ručním výpočtem dle směrnice ČEZ 22/80, aby člověk věděl, s jakou odchylkou zhruba program počítá. Původní myšlenkou praktické části bylo vytvořit jednu velkou síť, jenž by se podobala reálné distribuční síti. Kvůli omezenému počtu prvků v programu se však muselo provést určité ulehčení, v programu se tak namodelovalo několik desítek menších sítí, na kterých se následně provedla analýza. U vytvořených sítí se kladlo za cíl, aby se co nejreálněji podobaly těm skutečným. Při tvorbě se tak vycházelo z vlastních zkušeností, jehož nedostatky byly doplněny zkušenostmi odborníka z praxe. Při tvorbě se kladl značný důraz na platnou legislativu zejména, Zákon 458/2000 Sb., Vyhl. 540/2005 Sb. (zejména §§ 5,6,8 a § 21), Pravidla provozování distribuční soustavy (PPDS). Parametry chodu sítě, jakožto poměry veličin v uzlech a ve větvích nejsou kvůli rozsáhlosti v této práci zahrnuty. Zaměření práce spočívalo především na výpočtech ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektřiny SAIFI, SAIDI. Ve všech sítích se provedl výpočet třech různých stavů, první stav na začátku (bez inovací SG prvků), druhý stav před inovací (četnost velkých odstávek) a poslední stav je po inovaci SG prvků. V poslední praktické části vyhodnocení je pak uveden souhrn přehledných grafů a tabulek, jenž popisují změnu SAIDI, SAIFI pro různé stavy. Z procentuálního průměrového vyhodnocení lze tvrdit, že ke zlepšení ukazatele SAIFI dojde po následné inovaci ke zlepšení a to o 47 %. Kdežto u ukazatele SAIDI dojde procentuálně ke zlepšení ve všech sítích v průměru o 31 %. Před tímto vylepšením však musíme počítat se značnými odstávkami z důvodů montáže a rekonstrukce, které v tomto období (jednoho roku) budou probíhat. Tím dojde ke značnému zhoršení ukazatele SAIDI, a to ve všech sítích v průměru až o 50 %. Jak již bylo zmíněno provozovatelé distribučních soustav jsou povinni vypracovávat roční zprávu o kvalitě dodávky a hodnotě ukazatelů SAIFI, SAIDI energetickému regulačnímu úřadu. Hodnoty, které provozovatel DS nesmí překročit jsou předem stanoveny. V případě překročení této hodnoty bude muset zaplatit pokutu, a naopak při snížení ukazatele pod určitou hodnotu mu bude vyplacen příslušný bonus. Kvůli této skutečnosti je na konci vyhodnocení uveden stručný souhrn metod, které do značné míry zmírňují následky zhoršení ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektřiny. Z těchto metod byla vybrána metoda PPN, která by se při případných odstávkách aplikovala, její vyhodnocení je však v této práci čistě teoretické a kvůli rozsáhlosti práce není podloženo výpočty. Jako další možný způsob zmírnění dopadů, vlivem zhoršení ukazatele SAIDI by pak bylo docíleno tak, jestliže by vznikla určitá dohoda mezi PDS

a ERÚ. Hlavním záměrem této dohody, popř. smlouvy by bylo dosažení toho, že při krátkodobém zhoršení ukazatelů SAIDI (vlivem montáží a rekonstrukcí) v daném období, by z pohledu ERÚ nedošlo k vysokým, popř. žádným sankcím. A to z toho důvodu, že by se jednalo o mimořádná opatření, jež by vedla k výraznému zlepšení ukazatelů SAIFI, SAIDI v budoucnu.

Výsledky této práce mohou být možností pro další zkoumání, popř. mohou být aplikovány v praxi, za účelem použití na reálnou síť.

## Použitá literatura

- [1] TOMAN, Petr. Provoz distribučních soustav. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [2] Mapa působení provozovatelů distribučních soustav [online]. [cit. 2019-10-10]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/distribuce-elektriny>
- [3] Distribuční soustava. *Wikipedia.org* [online]. [cit. 2019-10-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Distribuční\\_soustava](https://cs.wikipedia.org/wiki/Distribuční_soustava)
- [4] HRADÍLEK, Zdeněk. Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1696-8.
- [5] HADJ-SAID, Nouredine a Jean-Claude SABONNADIÈRE, ed. SmartGrids. London: ISTE ; Hoboken, 2012. ISBN 978-1-84821-261-9.
- [6] Smart Grid. *Wikipedia.org* [online]. [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_grid](https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid)
- [7] The History of Making the Grid Smart. *Ethw.org/* [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: [https://ethw.org/The\\_History\\_of\\_Making\\_the\\_Grid\\_Smart](https://ethw.org/The_History_of_Making_the_Grid_Smart)
- [8] From lamp hours to smart meters. *www.informationinaction.com* [online]. [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: <https://www.informationinaction.com/from-lamp-hours-to-smart-meters/>
- [9] TLUSTÝ, Josef. Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04939-6.
- [10] BOILLOT, Marc. Advanced smart grids for distribution system operators. London: ISTE, 2014. Electrical engineering series. Advanced smart grids set. ISBN 978-1-84821-737-9.
- [11] SMART GRIDS - CHYTRÉ SÍTĚ. *www.cez.cz* [online]. Praha: Technická dokumentace ČEZ distribuce, a.s., 2011 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <http://www.futuremotion.cz/edee/content/file-other/future-motion/brozura-smartgrids.pdf>
- [12] HRADÍLEK, Zdeněk. Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení. Ostrava: VŠB-TU Ostrava ve vydavatelství Montanex, 2008. ISBN 978-80-7225-291-6.
- [13] Systém dálkově ovládaných stanic v distribučních sítích VN. *www.dribo.cz* [online]. [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: [http://www.dribo.cz/pdf/CZ\\_DOV.pdf](http://www.dribo.cz/pdf/CZ_DOV.pdf)
- [14] Návod k montáži, obsluze a údržbě venkovních vypínačů GVR Recloser Hawker Siddeley Switchgear. *www.dribo.cz* [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: [http://www.dribo.cz/pdf/CZM\\_Recloser.pdf](http://www.dribo.cz/pdf/CZM_Recloser.pdf)
- [15] Inteligentní distribuční trafostanice. *https://www.siemens.cz/* [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/energo/inteligentni-distribucni-trafostanice>
- [16] HUDEC, Lukáš. Systémy dálkového měření v energetice [online]. Brno, 2011 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/3694>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Jiří Mišurec.

- [17] Cesta od špendlíkového schématu k projektu SCADA 2012. <https://www.siemens.cz/> [online]. [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/energo/cesta-od-spendlikoveho-schematu-k-projektu-scada2012>
- [18] ČEZ: Věk chytrých praček a myček se blíží. <https://www.denik.cz/> [online]. [cit. 2019-12-30]. [https://www.denik.cz/z\\_domova/cez\\_chytre\\_spotrebice20090825.html](https://www.denik.cz/z_domova/cez_chytre_spotrebice20090825.html)
- [19] Smart grids by country. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) [online]. [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_grids\\_by\\_country](https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grids_by_country)
- [20] Which Country's Grid is the Smartest? [www.powermag.com](http://www.powermag.com) [online]. [cit.2019-02-05]. Dostupné z: <https://www.powermag.com/which-countrys-grid-is-the-smartest/>
- [21] Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny za rok 2016 <https://www.enviprofi.cz/> [online]. [cit.2019-02-05]. Dostupné z: <https://www.enviprofi.cz/33/fotovoltaika-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Eu20nowyCrKEIIC9ZoQivejVRYFLS2WAvA/>
- [22] Vyhláška ERÚ č. 540/2005 Sb. Vyhláška o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/>
- [23] TŮMA, Jiří. *Spolehlivost v elektroenergetice*. Praha: CONTE, 2006. ISBN 80-239-6483-6.
- [24] DNCalc: Analýza poměrů v DS <https://www.egc-cb.cz/> [online]. [cit.2019-02-05]. Dostupné z: <https://www.egc-cb.cz/produkty-pro-energetiku/software/dncalc-analyza-pomeru-v-ds.html>
- [25] Modul Spolehlivost <https://www.egc-cb.cz/> [online]. [cit.2019-02-05]. Dostupné z: [https://www.egc-cb.cz/download/sites\\_add\\_cs/1481008412\\_cs\\_dncalc-datasheet-cz-v2-spolehlivost.pdf](https://www.egc-cb.cz/download/sites_add_cs/1481008412_cs_dncalc-datasheet-cz-v2-spolehlivost.pdf)
- [26] ŠOLTYS, Jiří. *Optimalizace plánovaných odstávek v distribučních sítích* [online]. Ostrava, 2014 [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/106250>. Disertační práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

# Seznam příloh

Kvůli velkému rozsahu práce je zde v příloze uveden alespoň pro představu souhrn tabulek o evidenci jednotlivých prvků, či výsledky výpočtu poměrů jednotlivých veličin v síti pro Model Sítě 1.

<i>Tabulka 1 Napěťové poměry v jednotlivých uzlech pro Model Sítě 1 .....</i>	<i>I</i>
<i>Tabulka 2 Proudové poměry v jednotlivých větvích pro Model Sítě 1 – část 1.....</i>	<i>II</i>
<i>Tabulka 3 Proudové poměry v jednotlivých větvích pro Model Sítě 1 – část 2.....</i>	<i>III</i>
<i>Tabulka 4 Proudové poměry v jednotlivých větvích pro Model Sítě 1 – část 3.....</i>	<i>IV</i>
<i>Tabulka 5 Souhrn počtu jednotlivých prvků.....</i>	<i>IV</i>
<i>Tabulka 6 Specifikace jednotlivých odběrů.....</i>	<i>IV</i>
<i>Tabulka 7 Specifikace jednotlivých vedení.....</i>	<i>V</i>
<i>Tabulka 8 Specifikace napájecího transformátoru .....</i>	<i>V</i>



Tabulka 1 Napěťové poměry v jednotlivých uzlech pro Model Sítě 1

Název uzlu [-]	$U_A$ [kV]	$\alpha_A$ [°]	$U_B$ [kV]	$\alpha_B$ [°]	$U_C$ [kV]	$\alpha_C$ [°]	$\Delta U_A$ [%]	$\Delta U_B$ [%]	$\Delta U_C$ [%]
U1	114,87	29,88	114,87	-90,12	114,87	149,88	-4,42	-4,42	-4,42
110 kV	114,87	29,88	114,87	-90,12	114,87	149,88	-4,42	-4,42	-4,42
U3	114,87	29,88	114,87	-90,12	114,87	149,88	-4,42	-4,42	-4,42
U4	22,16	29,35	22,16	-90,65	22,16	149,35	-0,74	-0,74	-0,74
22kV	22,16	29,35	22,16	-90,65	22,16	149,35	-0,74	-0,74	-0,74
Vývod 22 kV	22,16	29,35	22,16	-90,65	22,16	149,35	-0,74	-0,74	-0,74
U10	22,11	29,21	22,11	-90,79	22,11	149,21	-0,48	-0,48	-0,48
U11	22,11	29,21	22,11	-90,79	22,11	149,21	-0,48	-0,48	-0,48
Vesnice 1	22,04	29,03	22,04	-90,97	22,04	149,03	-0,17	-0,17	-0,17
U13	22,04	29,03	22,04	-90,97	22,04	149,03	-0,16	-0,16	-0,16
U14	22,04	29,03	22,04	-90,97	22,04	149,03	-0,16	-0,16	-0,16
U15	22,04	29,03	22,04	-90,97	22,04	149,03	-0,16	-0,16	-0,16
U16	22,03	29,03	22,03	-90,97	22,03	149,03	-0,16	-0,16	-0,16
U17	22,03	29,03	22,03	-90,97	22,03	149,03	-0,16	-0,16	-0,16
U21	22,03	29,02	22,03	-90,98	22,03	149,02	-0,14	-0,14	-0,14
U23	22,03	29,02	22,03	-90,98	22,03	149,02	-0,14	-0,14	-0,14
U26	21,99	28,91	21,99	-91,09	21,99	148,91	0,04	0,04	0,04
Vesnice 2	21,99	28,91	21,99	-91,09	21,99	148,91	0,04	0,04	0,04
U28	21,99	28,91	21,99	-91,09	21,99	148,91	0,05	0,05	0,05
U29	21,99	28,91	21,99	-91,09	21,99	148,91	0,05	0,05	0,05
U34	21,99	28,91	21,99	-91,09	21,99	148,91	0,05	0,05	0,05
U35	21,99	28,91	21,99	-91,09	21,99	148,91	0,05	0,05	0,05
U36	21,98	28,90	21,98	-91,10	21,98	148,90	0,11	0,11	0,11
Vesnice 3	21,96	28,87	21,96	-91,13	21,96	148,87	0,20	0,20	0,20
U38	21,98	28,90	21,98	-91,10	21,98	148,90	0,11	0,11	0,11
U40	21,96	28,87	21,96	-91,13	21,96	148,87	0,20	0,20	0,20
U41	21,94	28,84	21,94	-91,16	21,94	148,84	0,27	0,27	0,27
U42	21,94	28,84	21,94	-91,16	21,94	148,84	0,27	0,27	0,27
U53	21,99	28,91	21,99	-91,10	21,99	148,91	0,06	0,06	0,06
U54	21,99	28,91	21,99	-91,10	21,99	148,91	0,06	0,06	0,06
U55	21,98	28,90	21,98	-91,10	21,98	148,90	0,11	0,11	0,11
U56	21,96	28,88	21,96	-91,12	21,96	148,88	0,19	0,19	0,19
U57	21,96	28,88	21,96	-91,12	21,96	148,88	0,19	0,19	0,19
U60	21,96	28,88	21,96	-91,12	21,96	148,88	0,19	0,19	0,19
U64	21,93	28,83	21,93	-91,17	21,93	148,83	0,31	0,31	0,31
U65	21,93	28,83	21,93	-91,17	21,93	148,83	0,31	0,31	0,31
U66	21,99	28,90	21,99	-91,10	21,99	148,90	0,07	0,07	0,07
U67	21,99	28,90	21,99	-91,10	21,99	148,90	0,07	0,07	0,07

Tabulka 2 Proudové poměry v jednotlivých větvích pro Model Sítě 1 – část 1

Prvek/Větev	Uzel	$I_A$ [A]	$\alpha_A$ [°]	$I_B$ [A]	$\alpha_B$ [°]	$I_C$ [A]	$\alpha_C$ [°]
ES110kV	U1	10,59	159,77	10,59	39,77	10,59	-80,23
S1	U1	10,59	-20,23	10,59	-140,23	10,59	99,77
	110 kV	10,59	159,77	10,59	39,77	10,59	-80,23
S2	110 kV	10,59	-20,23	10,59	-140,23	10,59	99,77
	U3	10,59	159,77	10,59	39,77	10,59	-80,23
Tr1	U3	10,59	-20,23	10,59	-140,23	10,59	99,77
	U4	52,30	165,22	52,30	45,22	52,30	-74,78
S3	U4	52,30	-14,78	52,30	-134,78	52,30	105,22
	22kV	52,30	165,22	52,30	45,22	52,30	-74,78
S6	22kV	52,30	-14,78	52,30	-134,78	52,30	105,22
	Vývod22kV	52,30	165,22	52,30	45,22	52,30	-74,78
V2	Vývod22kV	52,30	-14,78	52,30	-134,78	52,30	105,22
	U10	52,30	165,18	52,30	45,18	52,30	-74,82
S7	U10	52,30	-14,82	52,30	-134,82	52,30	105,18
	U11	52,30	165,18	52,30	45,18	52,30	-74,82
V3	U11	52,30	-14,82	52,30	-134,82	52,30	105,18
	Vesnice 1	52,32	165,13	52,32	45,13	52,32	-74,87
V4	Vesnice 1	3,92	-18,84	3,92	-138,84	3,92	101,16
	U13	3,93	161,03	3,93	41,03	3,93	-78,97
S8	U13	2,22	-18,83	2,22	-138,83	2,22	101,17
	U14	2,22	161,17	2,22	41,17	2,22	-78,83
S9	U13	1,70	-19,16	1,70	-139,16	1,70	100,84
	U15	1,70	160,84	1,70	40,84	1,70	-79,16
V5	U14	2,22	-18,83	2,22	-138,83	2,22	101,17
	U16	2,23	160,84	2,23	40,84	2,23	-79,17
S10	U16	2,23	-19,17	2,23	-139,17	2,23	100,84
	U17	2,23	160,84	2,23	40,84	2,23	-79,17
Odběr 1	U17	2,23	-19,17	2,23	-139,17	2,23	100,84
Odběr 2	U15	1,70	-19,16	1,70	-139,16	1,70	100,84
V7	Vesnice 1	4,71	-18,80	4,71	-138,80	4,71	101,20
	U21	4,72	160,83	4,72	40,83	4,72	-79,17
S12	U21	4,72	-19,17	4,72	-139,17	4,72	100,83
	U23	4,72	160,83	4,72	40,83	4,72	-79,17
Odběr 3	U23	0,79	-19,17	0,79	-139,17	0,79	100,83
V9	Vesnice 1	43,71	-14,09	43,71	-134,09	43,71	105,91
	U26	43,72	165,86	43,72	45,86	43,72	-74,14
S21	U26	21,60	-32,05	21,60	-152,05	21,60	87,95
	Vesnice 2	21,60	147,95	21,60	27,95	21,60	-92,05

Tabulka 3 Proudové poměry v jednotlivých větvích pro Model Sítě 1 – část 2

Prvek	Uzel	$I_A$ [A]	$\alpha_A$ [°]	$I_B$ [A]	$\alpha_B$ [°]	$I_C$ [A]	$\alpha_C$ [°]
V10	U26	3,26	-17,95	3,26	-137,95	3,26	102,06
	U28	3,26	161,74	3,26	41,74	3,26	-78,26
S22	U28	1,05	-19,28	1,05	-139,28	1,05	100,72
	U29	1,05	160,72	1,05	40,72	1,05	-79,28
Odběr 10	U29	1,05	-19,28	1,05	-139,28	1,05	100,72
V13	U26	2,09	-18,66	2,09	-138,66	2,09	101,34
	U34	2,10	160,72	2,10	40,72	2,10	-79,28
S20	U34	2,10	-19,28	2,10	-139,28	2,10	100,72
	U35	2,10	160,72	2,10	40,72	2,10	-79,28
Odběr 9	U35	2,10	-19,28	2,10	-139,28	2,10	100,72
V14	U26	19,16	7,37	19,16	-112,63	19,16	127,37
	U36	19,03	-175,76	19,03	64,24	19,03	-55,76
V15	Vesnice 2	21,60	-32,05	21,60	-152,05	21,60	87,95
	Vesnice 3	21,63	147,84	21,63	27,84	21,63	-92,16
S19	U36	19,03	4,24	19,03	-115,76	19,03	124,24
	U38	19,03	-175,76	19,03	64,24	19,03	-55,76
S13	Vesnice 3	21,63	-32,16	21,63	-152,16	21,63	87,84
	U40	21,63	147,84	21,63	27,84	21,63	-92,16
V17	U40	23,28	-19,28	23,28	-139,28	23,28	100,72
	U41	23,29	160,67	23,29	40,67	23,29	-79,33
S14	U41	10,13	-19,36	10,13	-139,36	10,13	100,64
	U42	10,13	160,64	10,13	40,64	10,13	-79,36
Odběr 5	U42	10,13	-19,36	10,13	-139,36	10,13	100,64
V23	U28	2,21	-17,77	2,21	-137,77	2,21	102,23
	U53	2,22	161,32	2,22	41,32	2,22	-78,68
S23	U53	0,79	-19,29	0,79	-139,29	0,79	100,71
	U54	0,79	160,71	0,79	40,71	0,79	-79,29
Odběr 11	U54	0,79	-19,29	0,79	-139,29	0,79	100,71
S18	U38	14,04	13,48	14,04	-106,52	14,04	133,48
	U55	14,04	-166,52	14,04	73,48	14,04	-46,52
Odběr 8	U38	5,65	-19,30	5,65	-139,30	5,65	100,71
V16_A	U55	14,04	13,48	14,04	-106,52	14,04	133,48
	U56	13,70	-173,62	13,70	66,38	13,70	-53,62
V16_B	U57	6,22	53,58	6,22	-66,42	6,22	173,58
	U40	5,30	-133,82	5,30	106,18	5,30	-13,82
S17	U56	13,70	6,38	13,70	-113,62	13,70	126,38
	U60	13,70	-173,62	13,70	66,38	13,70	-53,62
S16	U60	6,22	53,58	6,22	-66,42	6,22	173,58

Tabulka 4 Proudové poměry v jednotlivých větvích pro Model Sítě 1 – část 3

Prvek	Uzel	$I_A$ [A]	$\alpha_A$ [°]	$I_B$ [A]	$\alpha_B$ [°]	$I_C$ [A]	$\alpha_C$ [°]
Odběr 7	U60	10,52	-19,32	10,52	-139,32	10,52	100,69
V27	U41	13,16	-19,30	13,16	-139,30	13,16	100,70
	U64	13,16	160,63	13,16	40,63	13,16	-79,37
S15	U64	13,16	-19,37	13,16	-139,37	13,16	100,63
	U65	13,16	160,63	13,16	40,63	13,16	-79,37
Odběr 6	U65	13,16	-19,37	13,16	-139,37	13,16	100,63
Odběr 4	U23	3,93	-19,17	3,93	-139,17	3,93	100,83
V28	U53	1,44	-18,35	1,44	-138,35	1,44	101,65
	U66	1,44	160,71	1,44	40,71	1,44	-79,29
S24	U66	1,44	-19,29	1,44	-139,29	1,44	100,71
	U67	1,44	160,71	1,44	40,71	1,44	-79,29
Odběr 12	U67	1,44	-19,29	1,44	-139,29	1,44	100,71

Tabulka 5 Souhrn počtu jednotlivých prvků

Druh prvku	Typ	Počet
Napájecí uzel	EGC_110 kV	1
Transformátor	Škoda - 5 ER 31 M	1
Elektrické vedení	Venkovní/Kabelové	16
Spínač	Obecný/dálkově ovládaný/recloser	26
Zátěž	Obecná	12

Tabulka 6 Specifikace jednotlivých odběrů

Označení prvku	Druh	$S_N$ [kVA]	$S_{\text{provozní}}$ [kVA]	$\cos(\varphi)$ [-]	Počet zákazníků
Odběr 1	Obecná	250	85	0,95	100
Odběr 2	Obecná	160	65	0,95	80
Odběr 3	Obecná	160	30	0,95	40
Odběr 4	Obecná	400	150	0,95	20
Odběr 5	Obecná	630	385	0,95	750
Odběr 6	Obecná	630	500	0,95	510
Odběr 7	Obecná	630	400	0,95	500
Odběr 8	Obecná	400	215	0,95	400
Odběr 9	Obecná	250	80	0,95	100
Odběr 10	Obecná	160	40	0,95	50
Odběr 11	Obecná	160	30	0,95	25
Odběr 12	Obecná	160	55	0,95	45

*Tabulka 7 Specifikace jednotlivých vedení*

Označení prvku	Provedení	Typ	$S$ [mm <sup>2</sup> ]	$l$ [km]	$I_{MAX}$ [A]
V2	Venkovní	120AlFe6	120	2	357
V3	Venkovní	120AlFe6	120	2,5	357
V4	Venkovní	100AlFe6	100	0,5	357
V5	Venkovní	95AlFe6	95	0,75	289
V7	Venkovní	100AlFe6	100	1,75	300
V9	Venkovní	120AlFe6	120	2	357
V10	Venkovní	100AlFe6	100	1	300
V23	Venkovní	100AlFe6	100	2	300
V28	Venkovní	100AlFe6	100	1,35	300
V13	Venkovní	100AlFe6	100	1,3	300
V14	Kabelové	95ANKO	95	1,2	214
V16_A	Kabelové	95ANKO	95	2	214
V16_B	Kabelové	95ANKO	95	1,4	214
V15	Venkovní	120AlFe6	120	2,5	357
V17	Venkovní	100AlFe6	100	1	300
V27	Venkovní	100AlFe6	100	0,85	300

*Tabulka 8 Specifikace napájecího transformátoru*

Označení prvku	Výrobce	Typ	$U_{N1}$ [kV]	$U_{N2}$ [kV]	$S$ [MVA]
Tr1	Škoda	15 ER 31 M	110	23	25